كراسات علمية

سلسلة غير دورية تعنى بالإنجازات العلمية الحديثة

مجموعة علماء المستقبل

دنيا الفيزياء

د. محمد زكى عويس

تصدرها:
المكتبة الأكاديمية

رئيس التحرير
أ. د. أحمد شوقى

مدير التحرير
أ. أحمد أمين

دنيا الفيزياء

د / محمد زكى عويس
أستاذ الفيزياء بكلية العلوم
جامعة القاهرة

الناشر
المكتبة الاكاديمية
٢٠٠٠

حقوق النشر

المكتبة الأكاديمية

١٢١ ش التحرير - الدقي - الجيزة

تليفون : ٣٤٨٥٢٨٢ / ٣٤٩١٨٩٠

فاكس : ٣٤٩١٨٩٠-٠٢٠٢

علماء المستقبل

كراسات علماء المستقبل، تمثل المجموعة الخاصة لسلسلة كراسات علمية. وهى موجهة إلى كل من يهتم بالعلم، ويحتفى بالجهود المخلصة لنشر المعارف العلمية بشكل ميسر. ولأننا نتمنى أن ندفع البعض إلى الاشتغال بهذا النشاط النشرى المهم، فالشباب يأتون على رأس قائمة القراء المستهدفين لهذه المجموعة.

هذه الكراسة

تعرض بشكل مبسط، يخلو من المعادلات والتفاصيل المعقدة، صورة عامة لـ«دنيا الفيزياء» باعتبارها حجر الزاوية للعلوم الأساسية كلها. وقد نحى المؤلف الدكتور محمد زكى عويس، أستاذ الفيزياء بجامعة القاهرة، الذى عرفته سلاسل الكراسات فى أكثر من عمل، المنحى التاريخى.

إنه يقدم الحقائق والمعارف الفيزيائية بنفس التتابع الذى عرفته به البشرية، ويتطرق إلى ما أدت إليه هذه المعارف من تطبيقات هامة، لأن الحديث عن «دنيا الفيزياء» يجب أن يتعرض إلى «الفيزيا والدنيا» !!! كما حرص على تأكيد جنسية أغلب العلماء المذكورين فى النص، ليوضح عالمية العطاء العلمى، ولاينسى فى نهاية الكتاب أن يتطرق باختصار ووضوح إلى الآفاق المستقبلية.

لقد تطلب الأمر قدراً كبيراً من الشجاعة والتمكن، للإلمام بجوانب «دنيا الفيزياء» الرحبة فى هذا الحيز الضيق، مع الاحتفاظ بالبساطة والوضوح، كهدف أساسى لمجموعة «علماء المستقبل».

أحمد شوقى

المحتويات :

الصفحة

دنيا الفيزياء

(١) مقدمـــة :

علم الفيـزياء هو أحد العلوم الرئيسية التى تتعامل مع مكونات الكون الأساسية. وقد أدت المجهودات التى بذلت ومازالت إلى نتائج علمية عظيمة. وأدت الفيزياء الحديثة إلى دعم العلاقات الرياضية بين قوانين البقاء والتناظر للكميات الفيزيائية مثل الطاقة وكمية الحركة والشحنة.

وترتبط الفيزياء بالعلوم الطبيعية الأخرى وتتأثر بها على سبيل المثال، علم الكيمياء الذى يعتنى بتفاعل الذرات وتشكيل الجزيئات، وكثيراً من الجيولوجيا الحديثة التى تعتمد على الدراسات الفيزيائية للأرض وبذلك تأسس علم «الفيزياء الجيولوجية». وعلم الفلك يعتنى بدوره بفيزياء النجوم والفضاء الخارجى ومن ثم نشأ علم «الفيزياء الفلكية». وحتى نظم الحياة البيولوجية تعتمد على دراسة الجسيمات الأولية. والدراسات العلمية فى مجال الفيزياء الحيوية تتبع نفس القوانين المتعلقة بعلم الجسيمات الأولية الذى يدرس بطرق فيزيائية تقليدية.

وتنقسم الدراسات فى علم الفيزياء إلى قسمين أحدهما يتبع النهج المجهرى الميكروسكوبى الذى يعتنى بالأجسام الدقيقة التى لاترى بالعين المجردة، أما القسم الآخر فيتبع النهج الميكروسكوبى الذى يعتنى بنظم الأجسام الكبيرة نسبياً. وفى الوقت الحالى، لاغنى عن النهج الميكروسكوبى فى التطبيقات الفيزيائية والتكنولوجيا الحديثة. فمثلاً، علم «الديناميكا الحرارية» وهو أحد فروع الفيزياء الذى تطور خلال القرن التاسع عشر، يعتنى أساساً بقياس وشرح خواص النظام تحت الدراسة ككل. ومازال هذا العلم مفيداً بالمقارنة مع مجالات الفيزياء الأخرى، فهو يشكل الأساس للعديد من التطبيقات الهندسية الكيميائية والميكانيكية. فالخواص الطبيعية مثل درجة الحرارة والضغط والحجم لغاز ما، ليس لها أى معنى لو درست لذرة أو جزئ منفرد. فقواعد الديناميكا الحرارية يمكن تطبيقها مباشرة على نظام كبير من الأجسام الذرية أو الجزيئية.

ويمكن الربط بين المنهجين الميكروسكوبى والماكروسكوبى. على سبيل المثال باستخدام قواعد الميكانيكا الإحصائية حيث يمكن الربط بين الضغط ودرجة الحرارة فى علاقة رياضية توضح حركة الذرات أو الجزيئات.

والجدير بالذكر أن علم الفيزياء قد ظهر كعلم منفصل فى بداية القرن التاسع عشر. وقبل ذلك كان الفيزيائى غالباً يعمل رياضياً أو فيلسوفاً أو كيميائياً أو بيولوجياً أو مهندساً أو حتى قائداً سياسياً أو فناناً أو كاهناً.

واليوم نمى علم الفيزياء وتوسع وأصبح بالاكتشافات الفيزيائية الحديثة مسيطراً على التطور فى العلوم التطبيقية والهندسية والتكنولوجية. ففى القرن التاسع عشر اكتشفت الكهرباء والمغناطيسية والآن، نرى مدى التقدم التكنولوجى فى مجال الهندسة الكهربية والاتصالات، وكذلك اكتشاف خواص المواد الذى بدأ فى بداية القرن العشرين وماتبعها من تطبيقات فى علم الإلكترونيات. أما الاكتشافات المثيرة فى مجال الفيزياء النووية منذ مايقرب من خمسين عاماً فقد انتقلت بدروها إلى أيادى المهندسين النوويين لتشمل تطبيقاتها التكنولوجية الأغراض المدنية والعسكرية على حد سواء.

نبذة تاريخية عن علم الفيزياء

منذ القدم كان الإنسان شغوفاً بالظواهر الفلكية وقد نجح البابليون وقداء المصريين فى ملاحظة وتسجيل حركة الكواكب. ولكنهم فشلوا فى اكتشاف النظام الضمنى وتفسير حركة الكواكب ذاتها. وللأسف لم تضف الحضارة اليونانية القديمة كثيراً على ما اكتشفه قدماء المصريين ويرجع ذلك لعدم قناعة الفلاسفة القدماء مثل أفلاطون وأرسطو بجدوى التجارب العلمية فى متابعة الظواهر الكونية. وقد أحرز العلماء فى الإسكندرية مركز الحضارة اليونانية القديمة بعض التقدم فى عالم الاكتشافات والاختراعات. فى ذلك الوقت نجح المخترع أرشميدس فى تصميم أجهزة ميكانيكية مختلفة مثل الروافع والعتلات والبراعى (المسامير القلاووظ). كما نجح فى وضع طريقة علمية لقياس كثافة الأجسام الصلبة عن طريق غمسها فى السوائل. ومن أهم ما أنجزه العلماء اليونانيون نجاح الفلكى أرسطاركوس من مدينة ساموس اليونانية من قياس النسبة بين المسافات التى تفصل بين الأرض والشمس وبين الأرض والقمر. أما الفلكى ايراطوشينس فقد أمكنه تعيين محيط الأرض واستطاع تسجيل وتصنيف النجوم. ووضع العالمان هيباركوس وبطلمى، فروض نظام حركة الكواكب والذى أطلق عليها نظام الحركة البطلمى.

ويوضح فيه أن الأرض هى المركز الذى يتحرك حوله الشمس والقمر وباقى النجوم ويتم ذلك فى مدارات دائرية. وقد استمر هذا التصور ثابتاً لمدة طويلة، ورفع معارضوه الثمن غالياً، حتى جاء عصر النهضة.

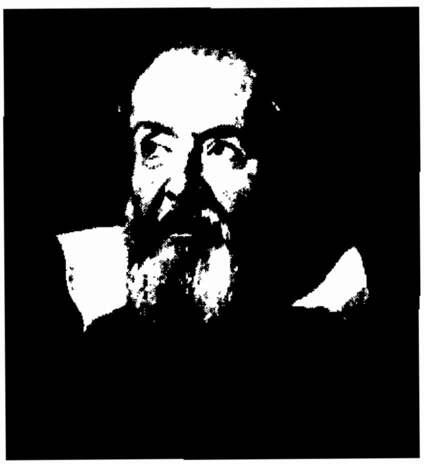
الفيزياء فى العصر المتوسط

حتى القرن الثالث عشر الميلادى لم يشهد علم الفيزياء تقدماً كبيراً بالمقارنة بالعلوم الأخرى. وقد سجل العلماء العرب أمثال القرشى وابن النفيس اهتماماً خاصاً بعلم الفيزياء. ولم تنتبه أوروبا إلى أهمية هذا العلم إلا فى بداية القرن الثالث عشر على أيدى الفليسوف الإيطالى سانت توماس الإكوينى الذى حاول استعراض أعمال الفلاسفة اليونانيين مثل أفلاطون وأرسطو. أما الفليسوف

الإنجليزى روجر باكون فقد اهتم بالتجارب العلمية من أجل اكتساب المعارف العلمية. وعمل فى مجال الفلك والكيمياء والبصريات ونجح فى تصميم بعض الماكينات.

وخلال القرنين السادس عشر والسابع عشر برز علم الفيزياء الحديثة وتبعه عصر النهضة الأوروبية. والفضل فى ذلك يعود إلى جهود أربعة من العلماء الأوروبيين أولهم الفليسوف البولندى نيكولاس كوبرنيكوس الذى اكتشف نظام الحركة الدائرى للكواكب حول الشمس، وبذلك أيقن أن النظام البطلمى القديم يجب أن يتغير وبذلك تم اعتماد «نظام كوبرنيكوس» بدلاً عنه. أما الفلكى الدنماركى تيكوبراهى فكان مؤيداً للنظام البطلمى، وحاول تأييد فكره بإجراء بعض التجارب العملية والقياسات الدقيقة. إلا أن مساعده الفلكى الألمانى يوهانس كيبلر نجح فى عمل إنقلاب على النظام البطلمى وتمكن من إعلان نظام الحركة الدائرية للكواكب حول الشمس.

والعالم الرابع هو الإيطالى «جاليليو» الذى نجح عام ١٦٠٩م فى صنع أول تليسكوب وأمكنه مشاهدة الحركة الدائرية للكواكب. وقد اكتشف أن سطح القمر غير منتظم، كما اكتشف التوابع اللامعة الأربعة لكوكب جيوبتر وأيضاً البقع الشمسية. وأمكنه تحديد نجوم جديدة فى درب اللبانة.



العالم جاليليو جاليللى
(١٥٦٤-١٦٤٢م)

وكان «جاليليو» شغوفاً بالعلوم الهندسية خاصة هندسة المستويات المائلة، كما عمل على تحسين الساعة المائية. وقد برهن على أن الأجسام مختلفة الأوزان تسقط بنفس المعدل، وأن سرعة السقوط تزداد بانتظام مع زمن السقوط. والجدير بالذكر أن العالم الرياضى الفيزيائى الانجليزى «اسحاق نيوتن» هو أول من استكمل الأبحاث التى بدأها «جاليليو» وقد أصبح من عظماء علماء العالم.

٢) القسم الثانى : الفيزياء الكلاسيكية

٢-١ نيـــوتن وعـلم الميكانيكا

فى بداية عام ١٦٦٥م وعن عمر يناهز ٢٣ عاماً وضع نيوتن مبادىء لعلم الميكانيكا واستطاع صياغة قوانين الجاذبية الكونية والتحليل الطيفى للضوء الأبيض الذى يأتى إلينا من الشمس. واقترح نظرية للإنتشار الضوئى واخترع نظام رياضى حديث لحساب التفاضل والتكامل. كما ساهم «نيوتن» فى العديد من الظواهر الطبيعية. وبين أن قوانين كيپلر فى وصف حركة الكواكب وكذلك قوانين السقوط للأجسام لجاليليو ما هى إلا حالات خاصة من القانون الثانى للحركة. كما تنبأ «نيوتن» بظهور المذنبات وشرح تأثير القمر على المناخ الأرضى.



العالم اسحاق نيوتن
(١٦٤٢-١٧٢٧م)

والجدير بالذكر أن التطور المتسارع فى علم الفيزياء يعود الفضل فيه إلى قوانين الحركة لنيوتن خاصة القانون الثانى للحركة والذى ينص على أن «القوة التى يحتاجها الجسم للتسارع تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلة الجسم فى تسارعه».

وإذا أعطيت القوة والوضع الابتدائى للجسم وسرعته عندئذ، يمكن حساب السرعات والمواقع المتتالية للجسم فى لحظات لاحقة أخرى، حتى لو كانت هذه القوة متغيرة كدالة فى الزمان أو المكان. هذه القوانين البسيطة أدت إلى معرفة خصائص الأجسام وعزم القصور الذاتى وتأثيره على الحركة. فكلما ازدادت الكتلة كلما قل التغير فى السرعة عند التأثير بقوة. والعكس صحيح كلما خف الجسم إزداد التغير فى السرعة عند التأثير بقوة.

أما القانون الثالث لنيوتن فيوضح ببساطة أن «لكل فعل رد فعل يساويه فى المقدار ويضاده فى الاتجاه». وبالتالى عرف الإنسان أن القوة بين الأجسام تكون مزدوجة وفى اتجاهات متعاكسة وليس بالضرورة على طول الخط الواصل بين الأجسام.

وضع العالم «نيوتن» بصمته الرئيسية فى علم الفيزياء عند دراسته لقوة الجاذبية. وفى العصر الحديث يعرف العلماء بالإضافة إلى قوة الجاذبية ثلاثة قوى رئيسية أخرى توفر إمكانية لمشاهدة الخصائص والأنشطة الكونية المختلفة. والقوى الثلاث الأخرى هى:

(أ) القوة الكهرومغناطيسية.

(ب) القوة النووية الشديدة.

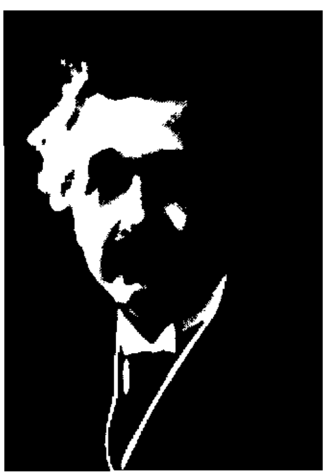
(جـ) القوة النووية الصغيفة.

والقوة النووية الشديدة هى المسئولة عن ربط النيوترونات والبروتونات داخل نوى الذرات. أما القوة النووية الضعيفة بين الجسيمات الأولية الأخرى فهى المسئولة عن ظاهرة النشاط الإشعاعى للمواد.

ومنذ معرفة قانون الجاذبية الكونية استطاع العلماء فهم طبيعة القوة الذى أدى بالتالى إلى معرفة أن الأجسام المادية ومكوناتها تملك خاصية «الكتلة الجاذبة» هذه الخاصية تسبب تجاذب أى جسمين بعضهما للآخر وعلى طول الخط الفاصل بينهما. وقوة التجاذب بين الجسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة التى تفصل بينهما.

والجدير بالذكر، أن قوة الجذب تجعل الكواكب تتحرك حول الشمس. وتمتلك الأرض مجالاً خاصاً بها للجاذبية، وقد تكون قوة الجذب هى المسئولة عن الانهيارات الجاذبية فى المرحلة النهائية من دورة حياة النجوم.

والأهمية الخاصة للربط بين تكافؤ قوة الجذب وعزم القصور الذاتى لم يفطن لها أحد من قبل حتى تمكن العالم الفيزيائى «ألبرت اينشتين» من إعلان نظرية النسبية ونجاحه فى التمييز بين مجال الجاذبية والإطار المرجعى للتسارع.



العالم البرت أينشتين
(١٨٧٩-١٩٥٥م)
حاصل على جائزة نوبل
عام ١٩٢٤م

وقوة الجاذبية هى أضعف القوى الطبيعية الأربعة سالفة الذكر، خاصة عندما نأخذ فى الاعتبار دراسة الأجسام الأولية دون الذرية. على سبيل المثال، قوة الجاذبية بين بروتونين (باعتبارهما من الجسيمات الأولية الثقيلة) وعند أى مسافة معطاة تقدر بـ ١٠^-٣٥ مرة مقدار القوة تعتبر صغيرة جداً بالمقارنة بقوة التفاعل النووى الشديدة بين البروتونين داخل النواة فى الذرة. والجاذبية تظهر بقوة فى المقياس الميكروسكوبى لاعتبارين هما :

١) معرفة نوع وحيد للكتلة يؤدى إلى نوع محدد للقوة هى قوة الجذب. والعديد من الأجسام الأولية والتى يتشكل منها الأجسام الكبيرة مثل الأرض تبين التأثير التراكمى لقوى الجاذبية والتى تصبح كبير للغاية.

٢) تمثل قوة الجاذبية على مدى كبير وتقل بزيادة مربع المسافة التى تفصل بين الأجسام.

وعلى العكس، فالشحنات الكهربائية للجسيمات الأولية التى تعطى قيمة للقوى الكهروستاتيكية والقوى المغناطيسية، إما أن تكون موجبة أو سالبة أو تتلاشى معاً. على سبيل المثال، الشحنات المختلفة فقط هى التى تتجاذب كهربياً. وهذا يعنى أن القوى النووية الشديدة والضعيفة هى قوى قصيرة المدى ومن الصعب ملاحظتها على مسافات فى حدود أجزاء من ١٠^١٢ جزءاً من السنتيمتر.

وبالرغم أن قوة الجاذبية تعتبر هامة فى المقياس الميكروسكوبى، إلا أنها تكون ضغيفة إلا فى حالة أن يكون الجسم ثقيل للغاية. وطبقاً لقانون الجاذبية الكونى العام أمكن دراسة حركة الكواكب قبل أى تجارب عملية. وفى عام ١٧٧١م، تمكن العالم الفيزيائى الإنجليزى هنرى كافيندس من استخدام كرات كبيرة لجذب كتل صغيرة مرتبطة بالبندول الدائرى (Torsion Pendulum) وتمكن بهذه الطريقة من تعيين كثافة الأرض.

وبعد قرنين من الزمان من اكتشافات «نيوتن» أمكن تحليل قوانين الميكانيكا وتطبيقاتها المثيرة خاصة على نظم أكثر تعقيداً. فقد استطاع العالم الرياضى السويسرى ليونارد أويلر من إعادة صياغة معادلات الحركة لأول مرة لوصف حركة الأجسام الصلدة، بينما كانت معادلات نيوتن تطبق فقط على الأجسام «النقطية» التى يمكن اعتبارها كأجسام. وهناك علماء فيزيائيون آخرون أمثال الفرنسى جوزيف لويس لاجرانج والأيرلندى سير ويليام روان هاميلتون اللذين تناولا القانون الثانى للحركة فى درجة متطورة وفى نفس الفترة تمكن أويلر والعالم الهولندى دانيال برنولى من تطوير ميكانيكا نيوتن لمعالجة ميكانيكا الموائع.

٢ـ٢ الكهربية والمغناطيسية

بالرغم أن اليونانيون القدماء هم أول من اهتموا بالخصائص الكهروستاتيكية لمادة العنبر (الكهرمان)، إلا أن العلماء لم يستطيعوا فهم الظواهر الكهربية والمغناطيسية حتى نهاية القرن الثامن عشر.

ففي عام ١٧٨٥م اكتشف العالم الفرنسي شارلي أوجستين دى كولوم لأول مرة عمليات تجاذب أو تنافر الشحنات الكهربية. ووجد أنها تتبع قانون التربيع العكسي بالمثل كما هو الحال في قوة الجاذبية. واستطاع العالمان الفرنسي دنيس بواسون والألماني كارل فريدريك من تطوير طريقة نظرية لحساب تأثير عدد من الشحنات الاستاتيكية (الساكنة في حالة توزيع اختيارى). ووجدوا أن الشحنات الموجبة تجذب الشحنات السالبة وتميل إلى التسارع في اتجاه أحدهما للآخر.

وإذا كان الوسط التى تتحرك فيه الأجسام يقاوم الحركة، فيعمل هذا الوسط على تقليل السرعات بدلاً من تسارعها. ولذلك يسخن الوسط وتتأثر الشحنات بمتغيرات أخرى.

وفي عام ١٨٠٠م تمكن العالم الإيطالي اليساندرو فولتا من تطوير البطارية الكيميائية التى سمحت بتوليد قوة دافعة كهربية تضمن استمرار حركة الشحنات الكهربية. والمفهوم البسيط عن الدائرة الكهربية يفرض أن نهايات البطارية يحتفظ أحداها بشحنة كهربية موجبة والنهاية الأخرى تحتفظ بشحنة كهربية سالبة ويتم ذلك من خلال الخصائص الداخلية للبطارية. وعند توصيل هذه النهايات بالسلك الكهربى، فإن الشحنات السالبة تندفع تلقائياً بعيداً عن النهاية السالبة للبطارية وتنجذب في اتجاه النهاية الموجبة. وأثناء هذه العملية يسخن السلك وتنشأ مقاومة لحركة الشحنات السالبة. وعند وصول هذه الشحنات إلى النهاية الموجبة، تسبب البطارية قوة للأجسام في اتجاه النهاية السالبة لتعادل القوى العسكية لقانون كولوم. وقد تمكن العالم الألمانى جورج سيمون أوم من اكتشاف ثابت التناسب البسيط بين شدة التيار الذى يمر في السلك والقوة الدافعة الكهربية التى توفرها البطارية.

ويعرف ثابت التناسب بمقاومة الدائرة، وينص قانون أوم على أن «يساوى مقدار مقاومة الدائرة الكهربية خارج قسمة مقدار القوة الدافعة الكهربية على شدة التيار الكهربائى المار في الدائرة». هذا القانون يصف سلوك المواد الصلبة عند تعرضها لمجال كهربائى فقط.

وفي القرن السابع عشر تم اكتشاف المغناطيسية الذى اعتمد على وجود أزواج من الأقطاب المشحونة. وقد اهتم العالم الفرنسي كولوم بهذه الظاهرة واستطاع الربط بين علم الكهربية والمغناطيسية.

وفى عام ١٨١٩م، اكتشف العالم الفيزيائى الداينماركى هانس كريستين أوريستد الإبرة المغناطيسية والتى تنحرف بواسطة سلك يحمل تيار كهربائى موضوع بالقرب منها. وبذلك نجح العالم الفرنسى اندريه مارى أمبير فى تأثير سلكين يحملان تياراً كهربائياً بعضهما على الآخر كما يحدث بين الأقطاب المغناطيسية. وفى عام ١٨٣٦م اكتشف العالم الإنجليزى ميشيل فارادای طريقة الحث وإمرار التيار الكهربائى فى سلك دون أن يوصل بالبطارية، ويتم ذلك عن طريق تحريك مغناطيس أو بوضع سلك آخر يحمل تياراً كهربائياً بالقرب منه.



العالم كلارك ماكسويل
(١٨٣١ - ١٨٧٩م)

والتيار أو الشحنات الكهربية المتحركة تولد مجالات مغناطيسية. والمجالات الكهربية تتولد عن طريق تغيير فى شدة المجالات المغناطيسية والعكس صحيح. وقد عبر عن هذه العلاقة ووضعها فى صياغة رياضية العالم الفيزيائى الإنجليزى جيمس كلارك ماكسويل الذى استطاع تطبيق معادلات التفاضل الجزئى لربط «إحداثي الفراغ» والزمن فى وصف التغيير فى شدة المجال الكهربائى وشدة المجال المغناطيسى عند نقطة عن طريق الشحنة وكثافة التيار الكهربى عند نفس النقطة. ومن حيث المبدأ، يمكن حساب شدة المجال فى أى مكان وعند أى لحظة بمعرفة الشحنة وشدة التيار. وعلى غير المتوقع ونتيجة لحل معادلات ماكسويل، أمكن التنبؤ بنوع جديد من المجالات وأطلق عليه «المجال الكهرومغناطيسى».



العالم ميشيل فاراداى، ولد فى لندن بإنجلترا عام (١٧٩١م)

هذا المجال ينتج عن طريق تسارع الشحنات. والمجال الكهرومغناطيسى ينتشر فى الفراغ بسرعة الضوء على هيئة موجات كهرومغناطيسية. ووجد أن شدة المجال تتبع قانون التربيع العكسى، أى أن شدة المجال تقل بزيادة مربع المسافة عن المصدر.

وفى عام ١٨٨٦م، نجح الفيزيائى الألمانى هينريتش رودلف هرتز من توليد موجات كهرومغناطيسية بطرق كهربائية، مما أدى إلى اكتشاف الراديو والرادار والتليفزيون وأشكال أخرى من وسائل الاتصالات.

ويتشابه السلوك الموجى للمجالين الكهربى والمغناطيسى مع الموجات الناشئة عن حركة الوتر الطويل الذى يتحرك أحد أطرافه بسرعة إلى أعلى وإلى أسفل بطريقة دورية. وعلى طول الوتر تتحرك نقطة ما تذبذباً إلى أعلى وإلى أسفل بنفس تردد المصدر. وجميع النقاط على طول الوتر والتى تبعد بمسافات مختلفة عن المصدر تصل إلى أقصى ارتفاع فى أزمنة مختلفة، وفى أطوار مختلفة. وينتقل التردد من نقطة إلى أخرى على طول الوتر بسرعة موجية تعتمد على الوسط والكتلة ومقدار الشد. وبعد فترة وجيزة من تحريك الوتر يصبح للنقاط المتواجدة على مسافات متساوية نفس الإزاحة والحركة. ويفصل بينها مسافة تعرف بالطول الموجى الذى يساوى ناتج القسمة بين السرعة الموجية والتردد.

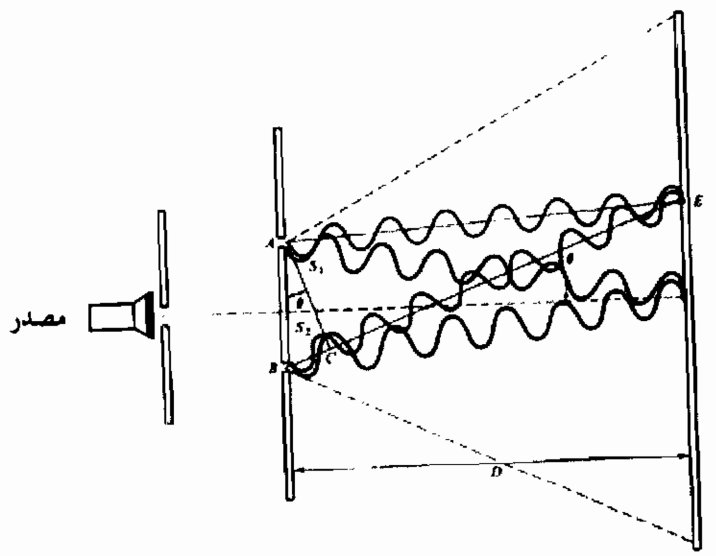
وفى حالة المجال الكهرومغناطيسى، يمكن للمرء أن يفكر فى التغيير فى شدة المجال الكهربائى كما يحدث فى حالة الوتر، ويمثل المجال المغناطيسى عند اتجاه الزاويا اليمنى لهذا المجال الكهربائى. والمعروف الآن أن الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر بعيداً عن المصدر بسرعة تساوى سرعة الضوء.

٢-٣ طبيعة الضوء

منذ القدم، عرف الإنسان الإنتشار الخطى للضوء، كما أعتقد الفلاسفة اليونانيون القدماء أن الضوء يتكون من جسيمات دقيقة. وكانوا غير متأكدين ما إذا كانت هذه الجسيمات الدقيقة تصدر من العين أو من الأجسام المشاهدة، حتى حسم الأمر العالم العربى الحسن بن الهيثم وذلك بتأكيد أن الضوء ينعكس من الأجسام إلى العين وليس العكس. ولم تعط أى من النظريات الضوئية أى تفسير مقنع لظهور واختفاء وتغير السرعة والاتجاه لهذه الجسيمات عند مرورها خلال الأوساط المختلفة. وفى القرن السابع عشر، طرح نيوتن بعض الإجابات الجزئية لهذه الأسئلة. فقد وضع فروض نظرية الجسيمات الدقيقة للضوء. وقد تمكن العالمان الإنجليزى روبرت هول والهولندى كريستيان هيجنز من وضع فروض النظرية الموجية للضوء. ولم يتم بالبرهان العملى للتمييز بين هاتين النظريتين إلا مع بداية القرن التاسع عشر على يد العالم الفيزيائى الإنجليزى «توماس يانج».

وتجربة يانج للتداخل الضوئى يمكن إجراؤها بوضع شريحة رقيقة أو شريحتين متباعدين أمام المصدر الضوئى. وبالنظر عند شاشة الاستقبال الموضوعة على مسافة ما خلف الشريحتين يتبين ظهور روابط مضيئة وأخرى مظلمة بدلاً من رؤية صورة منتظمة الشريحتين. فالأجسام الدقيقة للضوء والتى تأتى من نفس المصدر الضوئى وتصل إلى الشاشة من خلال الشريحتين لايمكن أن ينتج عنها شدة إضاءة مختلفة عند أماكن مختلفة من الشاشة. ولايمكن أن يلغى بعضهما البعض عند البقع المظلمة. أما إذا كانت طبيعة الضوء هى الموجات الضوئية، فيمكن أن ينتج عنها هذا التأثير. فى هذه الحالة، وكما فرض العالم هيجنز تصبح كل نقطة على الشريحتين كمصدر ضوئى ثانوى وينبعث الضوء فى جميع الاتجاهات وتصل نبضات متواصلة (ترلات) من الموجات إلى شاشة الاستقبال فى أطوار مختلفة، يعتمد ذلك على اختلاف المسار لهذا الترلات الموجية. فيصبح التداخل بناءً عندما تتقابل الموجات بنفس الطور ويصبح التداخل هداماً (إظلام) عندما تتقابل الموجات فى أطوار متعاكسة. وظهور البقع المضيئة يعانى من تغير منتظم عند تتابع الموجات ووصولها فى حالة عدم توافق طورى وتخفت الاستضاءة حتى تختفى ثم تتابع الموجات المتوافقة فى الطور فى الوصول إلى الشاشة ويحدث ارتفاع فى شدة الاستضاءة حتى تظهر البقعة المضيئة الثانية.. وهكذا. ولايمكن للعين المجرد من

متابعة سرعة الومضات التى تقدر فى حالة الضوء المرئى بتردد ٤ × ١٠^١٤ هرتز إلى ٧,٥ × ١٠^١٤ هرتز (١ هرتز = ١ دورة لكل ثانية). وبالرغم أن التردد الموجى لهذه الومضات لايمكن قياسها مباشرة، إلا أن التردد يمكن تعيينه بقياس الطول الموجى وسرعة الموجة. ويقاس الطول الموجى بمعرفة المسافة التى تفصل الشريحتين وكذلك المسافة بين البقع المضيئة المتتابعة على شاشة الاستقبال والتى وجد أنها تقدر بـ ٤ × ١٠^-٥ سنتيمتر للضوء البنفسجى و٧,٥ × ١٠^-٥ سم للضوء الأحمر وبينهما يمكن تقدير الطول الموجى لألوان الطيف الضوئى الأخرى.



تجربة يانغ للتداخل الضوئى باستخدام شريحة تحتوى على ثقبين

أما بالنسبة لقياس سرعة الضوء، فقد نجح الفلكى الدانماركى أولاوس رومير عام ١٦٧٦م من قياس سرعة الضوء لأول مرة، وتم ذلك بمتابعة ظهور أقمار كوكب جيوبتر ومعرفة التغير فى المسافة بين كوكبى الأرض وجيوبتر. وبمعرفة الفرق الزمنى اللازم لوصول الضوء للأرض أمكن تعيين سرعة الضوء.

والمثير فى الموضوع أن هذه النتائج تتفق إلى حد كبير مع الطريقة الحديثة للعالم الفرنسى أرماند هيبوليت لويس فيزو والعالم الفيزيائى الأمريكى إبراهام ميكلسون، ونعرف اليوم أن سرعة انتشار الضوء فى الفراغ تساوى ٢٩٩٢٩٢,٦

كيلومتر فى الثانية، ويقل هذا المقدار فى حالة انتشار الضوء فى المواد المختلفة، كما يتميز الضوء بظاهرة «التفريق الضوئى».

والجدير بالذكر أن أعمال «ماكسويل» قد ساهمت فى فهم طبيعة الضوء، وتبين أن الضوء هو موجات كهرومغناطيسية، كما يتذبذب المجالان الكهربائى والمغناطيسى فى موجات ضوئية. وتنبأ «ماكسويل» بوجود الضوء غير المرئى فى مدى الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. ومن المعروف الآن، أن الطيف الكهرومغناطيسى يغطى المدى الموجى لأشعة جاما بطول موجى 10^{-12} سنتيمتر ثم الأشعة السينية، فالضوء المرئى، ثم الموجات الدقيقة فموجات الراديو والتى يتعدى طولها الموجى عدة مئات من الكيلومترات. وقد أمكن دراسة خصائص المواد واعتمادها على التأثيرات الكهربية والمغناطيسية من خلال العلاقة الرياضية التى تربط بين سرعة الضوء فى الفراغ وسرعته خلال الوسط.

وفى الحقيقة، لم تحدد أعمال «ماكسويل» كيفية انتقال الضوء والموجات الكهرومغناطيسية الأخرى فى الوسط المحيط بنا. على سبيل المثال يعتبر الماء وسط يحمل الموجات الصوتية أو الموجات المرنة الأخرى. وقد فرض العلماء وجود وسط مشابه وهو «الأثير» وهو وسط عديم الكتلة وله سلوك الأجسام الصلبة، يسمح بانتقال الموجات الكهرومغناطيسية خلاله، والموجات الكهرومغناطيسية هى موجات مستعرضة تتذبذب فى إتجاه عمودى على اتجاه انتشار الموجة، وهذا الأثير مختلف عن الغازات أو السوائل كوسط يسمح فقط بانتقال الموجات الطولية مثل الموجات الصوتية. والبحث عن هذا السلوك الغامض «للأثير» أثار اهتمام العلماء لمدة طويلة خلال القرن التاسع عشر.

وفى عام ١٨٨٦م، حاول العالمان الأمريكيان ميكلسون وادوارد ويليامز مورلى استخدام جهاز مقياس التداخل لقياس سرعة الضوء مع الأخذ فى الاعتبار حركة الأرض خلال «الأثير المستقر».

وكانت نتائج التجربة مختلفة وتعتمد على كيفية انتقال الضوء فى اتجاه عمودى على حركة الأرض أو اتجاه الحركة الأرضية ذاتها.

وتختلف النتائج بتغير درجة التداخل الضوئى. وفى عام ١٩٠٥م بعد صياغة العالم «البرت اينشتين» نظرية النسبية أمكن تنفيذ طريقة ميكلسون ـ مورلى لقياس سرعة الضوء بدقة فائقة.

٢ـ٤ الديناميكا الحرارية

خلال القرن التاسع عشر، اعتبر العلماء الديناميكا الحرارية من أهم فروع الفيزياء وأكثرها شأناً خاصة فى ظل حالة الحيرة والبلبلة فى تفسير العلاقة بين

الحرارة ودرجة الحرارة. وقد أمكن التوصل للربط بينهما من خلال وضع مفاهيم جديدة لميكانيكا الشغل والطاقة.

الحرارة ودرجة الحرارة

تختلف الأحاسيس عند لمس الأجسام الساخنة والأجسام الباردة، مما يؤدى إلى المعرفة الأولية عن مفهوم درجة الحرارة. ويؤدى إضافة حرارة إلى الجسم إلى زيادة درجة حرارته (بحيث لاتصل هذه الحرارة إلى درجة انصهار أو غليان الجسم). أما فى حالة توصيل جسمان لهما درجات حرارة مختلفة، فيلاحظ انتقال الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، حتى تصل حرارتهما إلى درجة الاتزان (الاستقرار). واستطاع العلماء قياس درجة الحرارة عن طريق إضافة أو سحب الحرارة المعطاة للجسم. على سبيل المثال وجد أن إضافة كمية من الحرارة إلى عمود من السائل موجود تحت ضغط ثابت تزيد من تمدد واستطالة العمود السائلى. بينما تسخين غاز ما موجود فى حجم محدد يزيد من ضغطه. وبذلك تمكن العلماء من تحديد طرق مختلفة لقياس درجة الحرارة بمعرفة الخصائص الفيزيائية للمواد، كما هو الحال عند استعمال الترمومتر الزئبقى التقليدى.

وطور العلماء بعض الطرق الرياضية لدراسة الخصائص الفيزيائية للمواد. وتمكن العالم الفيزيائى الإنجليزى روبرت بويل من وضع صيغة رياضية للربط بين درجة الحرارة لجسم ما (أو نظام ما) وخصائصه الفيزيائية، وابتكر ما يسمى «بمعادلة الحالة». ففى حالة الغاز المثالى، تربط معادلة الحالة ضغط الغاز (P) وحجمه (V) وعدد جزئياته فى الجرام (n) بدرجة حرارته المطلقة (T) بالعلاقة $PV = nRT$، حيث إن R هو ثابت الغازات المثالية العام. ويسمى هذا القانون «بقانون بويل». وقد ارتبط بهذه الدراسة العالمان الفرنسيان «جوزيف جاى لوساك»، و«جاك اليكسندر سيزار شارلز».

وحتى نهاية القرن التاسع عشر ظل العلماء يعتبرون الحرارة وسط مائع لا كتلى تحتويه المادة ويمكن ادخاله وخروجه من المادة.

وفى عام ١٧٩٨م استطاع العالمان الفيزيائيان الأمريكى «بنيامين طومسون» والانجليزى «كونت فون رومفورد» من الربط بين الحرارة وأشكال أخرى من الطاقة. ووجد أن الحرارة المتولدة فى المدافع تتناسب تقريباً مع مقدار الشغل المبذول. وكما هو معروف رياضياً فإن مقدار الشغل هو حاصل ضرب القوة المؤثرة على الجسم فى المسافة التى يتحركها الجسم تحت تأثير القوة.

القانون الأول للديناميكا الحرارية

أواسط القرن التاسع عشر تمكن العلماء الألمانى «هيرمان لودفيج فيرديناند فون هيلمهولتز» والإنجليزيان «ويليان طومسون» و«بارون كيلفن» من شرح

معامل التكافؤ الحرارى والميكانيكى والذى يربط بين كمية الحرارة والشغل المبذول على النظام. وطبقاً لمبدأ التكافؤ فإن الشغل المبذول على النظام يؤدى إلى زيادة درجة الحرارة بنفس المقدار الذى يسببه إضافة كمية مكافئة من الحرارة. وفى عام ١٨٤٩م، نجح العالم الإنجليزى «جيمس بريسكوت» فى تعيين القيمة العددية لثابت التكافؤ بواسطة مكبس بدال متحرك.

وعن طريق بذل الشغل أو إضافة كمية من الحرارة يمكن نقل الطاقة إلى النظام. وذلك يزيد مقدار الطاقة الداخلية للنظام بواسطة الحرارة أو الشغل المبذول. وفى حالة عدم تغيير مقدار الطاقة الداخلية للنظام، يعنى هذا أن كمية الشغل المبذول على النظام تساوى مقدار الحرارة المتولدة منه.

هذا هو القانون الأول للديناميكا الحرارية الذى يعتبر نصاً لقانون بقاء الطاقة.

القانون الثانى للديناميكا الحرارية

برغم أن القانون الأول للديناميكا الحرارية يعبر عن بقاء الطاقة للتفاعل بين النظام والوسط المحيط به، إلا أن هذا القانون لايعطى أى مؤشر عن تحول الطاقة من صورة إلى أخرى كطاقة ميكانيكية أو طاقة حرارية... وخلافه.

وفى عام ١٨٢٤م، توصل العالم الفيزيائى الفرنسى «نيكولاس ليونارد كارنوت» من تصميم آلة حرارية وهذا الجهاز ينتج شغلاً مستمراً عند تبديل الحرارة مع الوسط المحيط، تتطلب هذه الآلة جسماً ساخناً كمصدر حرارى وجسماً بارداً لامتصاص الحرارة. وعندما تنتج الآلة الشغل، تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد والعكس صحيح. بهذه الطريقة تعمل الثلاجات، حيث إن امتصاص الحرارة من المصدر (الفضاء البارد) يتطلب بذل شغل (عادة على هيئة قدرة كهربائية)، وأيضاً إلى تفريغ حرارى إلى الوسط المحيط.

واستناداً على أفكار «كارنوت» وضع الفيزيائى الألمانى «رودلف جيوليوس كلوسس» والانجليزى «اللورد كليفن» طرقاً أخرى مختلفة نذكر منها صبغة متكافئة لمبدأ كارنوت وهى «أن الحرارة لاتنتقل من الجسم البارد إلى الجسم الساخن دون بذل شغل على النظام»، وفى حالة النظام المعزول الذى لايتفاعل مع الوسط المحيط به، تتوزع درجات الحرارة على أجزائه الداخلية وتعيد ضبطها عند درجة حرارة منتظمة وينتج عن ذلك حالة استقرار حرارى.

ويتميز النظام الداخلى بخاصية الفوضى "Entropy" الذى صاغها لأول مرة العالم «كلوسس». وعن طريق معرفة درجة الفوضى يمكن قياس مدى قرب النظام من حالة الاستقرار. ووجد أن درجة الفوضى فى نظام معزول (مثل نظام الكون ككل) تزداد فقط.

وعندما تصل إلى حالة الاستقرار التام لايحدث أى تغيير داخلى من أى نوع بالنظام. وبتطبيق هذا المبدأ على «نظام الكون ككل» فإن درجة حرارة الفضاء تصبح منتظمة وتؤدى بذلك إلى مايسمى «حرارة الموت الكونى». وعملياً يمكن تقليل درجة الفوضى للنظام بواسطة المؤثرات الخارجية. وهذا ينطبق على الآلات الحرارية مثل الثلاجات، حيث يمكن تقليل الحرارة فى غرفة التبريد على حساب زيادة درجة الفوضى فى الوسط المحيط. وعمليات زيادة أو تقليل درجة الفوضى فى النظام تكون انعكاسية فى النظم الصغيرة (الميكروسكوبية). والانعكاسية التلقائية تؤدى ألى عودة النظام إلى الحالة الابتدائية القائم عليها بينه وبين الوسط المحيط به، بعد إزالة المؤثر الخارجى. وفى حالة انتهاك القانون الثانى للديناميكا الحرارية قد تبقى درجة الفوضى للنظام ثابتة. هذه العملية تكون حقيقية فى النظام الكبير الماكروسكوبى فقط، لكنها لاتنطبق على العمليات الخاصة بالنظم الصغيرة (الميكروسكوبية). على سبيل المثال، التفاعلات الكيميائية التى تتم بين الجزيئات الإنفرادية لاتخضع للقانون الثانى الذى ينطبق فقط على عينات ماكروسكوبية كبيرة.

وبإعلان القانون الثانى أصبح للديناميكا الحرارية تطبيقات عديدة فى مجالات الفيزياء والكيمياء والهندسة. وعمل فى هذا المجال العديد من العلماء مثل الأمريكى «ويلياردجيبس» والألمانى «والترهيرمان نيرنست».

٢ـ٥) نظرية الحركة والميكانيكا الإحصائية

فى عام ١٨٠٨م ولأول مرة نجح العالم الكيميائى الفيزيائى الإنجليزى «جون دالتون» فى وضع فروض وقواعد حديثة للذرة. واكتشف فى دراسته على العناصر الكيميائية المختلفة لمحاولة فهم المكونات الأساسية الداخلية أن هذه المكونات تعتمد علىّ نسبة ثابتة من أوزانها.

وفى عام ١٨١١م، استطاع الكيميائى / الفيزيائى الإيطالى «أميدو أفوجادرو» من فرض أن جزيئات المادة قد تتواجد فى حالة غازية عندما تكون المسافات البينية فيما بينها متباعدة. وظل هذا الفرض ولمدة خمسين عاماً حتى نال تأييد العلماء له، كما وضع «أفوجادرو» فروض نظرية الحركة للغازات، هذه النظرية تطورت فيما بعد على أيدى الفيزيائى النمساوى «لودفيج بولتزمان» عندما أمكنه تطبيق قوانين نيوتن الميكانيكية والاحتمالات على سلوك الجزيئات وهى فى حالة انفرادية. واستنبط «بولتزمان» قوانين إحصائية جديدة لوصف خصائص النظام ككل.

من أهم المشاكل الفيزيائية فى هذا الموضوع والتى تم حلها هو تعيين مدى السرعات المختلفة للجزيئات فى الغاز، وكذلك تعيين القيمة المتوسطة لطاقة حركة الجسم والتى يمكن معرفتها من القانون الثانى لنيوتن، حيث إن متوسط طاقة الحركة للجسم = نصف كتلته x مربع سرعته.

والجدير بالذكر أن من أهم الإنجازات فى نظرية الحركة هو المقدرة على معرفة درجة الحرارة للغازات. كما أن الخصائص الماكروسكوبية للديناميكا الحرارية (التى تصف النظام كوحدة كاملة) قد ارتبطت بعلاقة مباشرة مع متوسط طاقة الحركة للجزيئات. ومن الإنجازات الأخرى، تعريف درجة الفوضى للنظام عن طريق قانون الاحتمال الإحصائى لتوزيع الطاقة اللوغاريتمى. هذا القانون يبين أن حالة الاستقرار الحرارى تكون مناظرة لأكثر الاحتمالات لحدوث أقصى درجات الفوضى.

النظريات الذرية والجزيئية الأولية

كان لتطور النظرية الذرية لدالتون وكذلك القانون الجزيئى لأفوجادرو بالغ الأثر فى إضافة مفاهيم فيزيائية جديدة أدت إلى تطور علم الكيمياء ذاته.

قانون أفوجادرو:

يبين قانون أفوجادرو أن الغاز المتواجد فى حجم محدد عند درجة حرارة وضغط معينين، يحتوى على نفس العدد من الجزيئات بصرف النظر عن اختيار نوع الغاز.

وقد أمكن اثبات هذا القانون بواسطة نظرية الحركة للغازات.

ولم يحظى العلماء بالمعارف الذرية والجزيئية إلا فى بداية القرن العشرين خاصة بعد معرفة العدد الذرى الكتلى، وتعيين حجم الذرة واكتشاف الإلكترون كأحد الأجسام المكونة للذرة على أيدى الفيزيائى الأمريكى «روبرت أندروس ميليكان» ونجاحه فى تعيين مقدار شحنته السالبة بدقة عند مقدار $-١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم. وأخيراً أمكن تعيين عدد أفوجارد ووجد أن عدد الجزيئات فى كمية محدودة من المادة يساوى بالضبط وزنها الجزيئى.

وبفرض أن الذرة لها شكل كروى متماثل أمكن تحديد قطر الذرة الذى يتراوح بين $١٠^{-٧}$ إلى $١٠^{-٨}$ سنتيمتر وذلك بإجراء تجارب التشتت الاشعاعى باستخدام الأشعة السينية أو جسيمات ألفا.

المطيافية:

من أهم التطورات التى أدت إلى حدوث انقلابات فيزيائية تلو الأخرى من أجل معرفة العالم الداخلى للذرة كان «علم الأطياف». هذا العلم مرتبط بالتحليل للطيف الكهرومغناطيسى المنبعث من الذرات. ففى عام ١٨٢٣م أمكن للفلكى الإنجليزى «جون فريدريك ويليام هيرشيل» التمييز بين المواد الكيميائية المختلفة عن طريق معرفة الأطوال الموجية للضوء المنبعث منها. وفى السنوات التالية لذلك

تمكن العالمان الألمانيان «روبرت ويليهلم بانسين» و«جوستاف روبرت كيرتشوف» من تصنيف أطياف عدد كبير من المواد وتسجيلها فى كتالوجات خاصة.

وفى عام ١٨٦٨م درس الفلكى الإنجليزى «جوزيف نورمان لوكير الطيف الشمسى المجهول، واكتشف أن غاز الهليوم، هو أحد العناصر الجديدة. بالإضافة إلى ذلك فقد درس بالتفصل طيف ذرة الهدروجين أبسط أنواع الذرات.

والجدير بالذكر أن الخطوط الطيفية للعناصر تكون منفصلة ويمكن شرحها بالمعارف الفيزيائية الحديثة للإلكترون.

على سبيل المثال عندما تتعرض الذرة للحرارة أو قذفها بواسطة جسيمات دون ذرية (مثل جسيمات الفا) يحدث أن تتهيج الإلكترونات بها لتحتل مناسيب طاقة مرتفعة. وبعد زوال المؤثر الخارجى تميل هذه الإلكترونات للعودة إلى مناسيب طاقية منخفضة، وتنبعث الطاقة الزائدة على هيئة اشعاع كهرومغناطيسى، قد يكون فى المدى الطيفى للضوء المرئى أو فى المدى غير المرئى للأشعة تحت الحمراء أو الأشعة فوق البنفسجية. وقد وجد أن الطاقة الإشعاعية المنبعثة تتناسب بشدة مع درجة الحرارة. وتختلف الكثافة الإشعاعية باختلاف الأطوال الموجية.

تقويض الفيزياء الكلاسيكية

حتى عام ١٨٨٠م، كان لدى العلماء طمأنينة وقناعة عن نجاحهم العلمى خاصة بعد تمكنهم من شرح معظم الظواهر الطبيعية فى الكون بواسطة قوانين نيو تن الميكانيكية مثل نظريات ماكسويل الكهرومغناطيسية وميكانيكا بولتزمان الإحصائية والديناميكا الحرارية.. وغيرها. إلا أن بعض القضايا الهامة بقيت دون تفسير من أهمها معرفة خواص «الأثير وشرح الطيف الإشعاعى للغازات والأجسام الصلبة. وهذه الظواهر غير المشروحة كانت بمثابة بذور الثورة التى تأججت بفعل سلسلة من الملاحظات والاكتشافات المثيرة التى حدثت فى الجزء الأخير من القرن التاسع عشر. على سبيل المثال، عام ١٨٩٥م اكتشف العالم الألمانى «كونراد رونتجن» الأشعة السينية. وفى نفس العام اكتشف العالم الإنجليزى «جوزيف جون طومسون» الإلكترون. وفى عام ١٨٩٦م اكتشف الفيزيائى الإنجليزى «أنتونى هنرى بيكريل» النشاط الإشعاعى للمواد.

وفى الفترة من ١٨٨٦م إلى ١٨٩٩م تمكن العلماء الألمان «هرتز» و«ويلهلم هالوواتش» و«فيليب ادوارد أنتون» من اكتشاف أشعة الكاثود والسيل الإلكترونى، هذه الاكتشافات تخطت فى شرحها جميع النظريات للفيزياء الكلاسيكية المتاحة فى ذلك الوقت.

القسم الثانى : الفيزياء الحديثة

شهد الثلث الأول من القرن العشرين تطورين فيزيائيين كبيرين هما نظرية النسبية ونظرية الكم. وبواسطتهما أمكن شرح الظواهر الطبيعية سالفة الذكر. كما ساهما فى ابتكارات واكتشافات جديدة وبناء الفهم الفيزيائى المعاصر للظواهر الطبيعية التى نعرفها اليوم.

٣ـ١) النظرية النسبية ونظرية الكم

أ) النظرية النسبية:

يمكننا تبسيط الحركة النسبية إذا قارنا بين حالتين لشخص (A) يسير بسرعة (v) داخل قطار يسير بدوره بسرعة (u). الحالة الأولى، إذا نظر شخص آخر (B) وهو فى حالة سكون على الأرض، فإن سير السرعة النسبية للشخص (A) بالمقدار $V = v + u$.

والحالة الثانية، يكون فيها القطار ساكناً والشخص (B) هو الذى يتحرك بسرعة (u) فى عكس اتجاه الشخص (A) الذى يتحرك بسرعة v. فى هذه الحالة تكون السرعة النسبية للشخص (A) هى نفس المقدار فى الحالة الأولى $V = v + u$.

بالمثل، إذا نظر شخص إلى التوقيت فى ساعتين متواجدتين فى حالة سكون، وفى نفس المكان سيكون الزمن متساوياً فى كلتا الساعتين. هذا الزمن يتغير إذا تغيرت إحدى الساعتين بسرعة نسبية للساعة الأخرى. ونفس الشئ يحدث إذا وجد قضيبان لهما نفس الطول وفى حالة سكون. فيحدث تغير فى الأحوال عندما يتحرك أحد القضيبان بالنسبة للآخر. وقد فرض اينشتين أن سرعة الضوء فى الفراغ يجب أن تكون ثابتة. كما وضع تصوراً عن ارتباط الفراغ بالزمن وبين نقص المفاهيم حولهما. ووجد اينشتين أنه لابد للربط بينهما فى أربعة احداثيات متصلة بإضافة بعد الزمن إلى أبعاد الفراغ الثلاثة (الطول والعرض والارتفاع).

ومن أهم النتائج لنظرية النسبية ما يلى :

(أ) مكافئ الكتلة والطاقة.

(ب) محدودية سرعة الضوء فى المواد المختلفة.

وقد فرض اينشتين أنه لايوجد أى جسم يمكنه التحرك بسرعة تساوى أو أكبر من سرعة الضوء فى الفراغ.

أما العلاقة الهامة بين الكتلة والطاقة فقد ارتبطا فى النظرية النسبية بالعلاقة الشهيرة $E = mc^2$ حيث m = كتلة الجسم، E = طاقته، c = سرعة الضوء.

ونظراً لأن سرعة الضوء كبيرة للغاية، لذلك فإن مكافئ الطاقة لكتلة ما يكون هائلا.

والتغيير في مقدار الكتلة يتبعه تحول في مقدار الطاقة. هذا المفهوم يكون ملحوظاً في التفاعلات النووية. كما هو الحال في المفاعلات أو الأسلحة النووية.

أما في حالة النجوم، يؤدى فقد الكتلة بها إلى انبعاث طاقة رهيبة.

والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٠٥ صاغ العالم الأمريكي «البرت اينشتين» الفروض الأولى لنظرية النسبية التي عرفت «بالنسبية الخاصة». وتحدد هذه النظرية بإطارات مرجعية تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضها البعض، كما هو الحال في حالة القطار سالفة الذكر. وفي عام ١٩١٥م وضع اينشتين فروض لنظرية النسبية العامة تكون الأنظمة المرجعية بها متسارعة بالنسبة لبعضها البعض. وقد بينت هذه النظرية ظهور الجاذبية كنتيجة للهندسة الزمكانية (الفراغ-الزمنى). كما تنبأت بانحناء الضوء عندما يقترب في مساره من الأجسام الثقيلة جداً مثل النجوم. هذا التأثير تم مشاهدته عام ١٩١٩م. وللنسبية العامة الفضل الكبير في فهم التركيب والتطور الكونى.

ب) نظرية الكم:

أثار المأزق المتعلق بمشاهدة الأطياف المنبعثة من الأجسام الصلبة اهتمام العلماء. وحاول العالم الألماني «ماكس بلانك» تفسير هذه الظاهرة. وطبقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، يمكن للجزيئات في المادة الصلبة التذبذب بسعة موجية تعتمد على مقدار درجة الحرارة. وتتحول الطاقة الحرارية باستمرار إلى شعاع كهرومغناطيسى كلما استمر امداد المادة الصلبة بالطاقة.

وكان ذلك مناقضاً لما يظهر في المشاهدات العملية. وقد وضع «بلانك» فرض جذرى مضمونة أن الجزئ المتذبذب قد يشع موجيات كهرومغناطيسية، ويتم ذلك على هيئة حزم منفصلة يسمى كل منها «كوانتا» أو (فوتون)، (الفوتون يمثل كمية من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية)، ويتميز كل فوتون بطول موجى محدد. وتزداد طاقته بزيادة التردد وتعطي بالعلاقة $E = hf$، حيث E تمثل طاقة الفوتون وf تمثل تردده وh يمثل ثابت عام يسمى ثابت بلانك، ووجد أن قيمته تساوى $٦,٦٢٥ \times ١٠^{-٢٧}$ أرج-ثانية. أما الطول الموجى (λ) فيرتبط بالتردد بالعلاقة $\lambda f = C$، حيث أن C تمثل سرعة الضوء.

ويقاس التردد بوحدة الهرتز (١ هرتز = دورة كاملة/ ثانية) وبذلك استطاع بلانك ادخال العلاقة الازدواجية في النظرية الضوئية والتي ظلت لقرن من الزمان يعتقد أنها شبيهة الموجة فقط.

٣ ـ ٢) الكهربية الضوئية والأشعة السينية

أ) الكهربية الضوئية :

الظاهرة الكهروضوئية تتعلق بإمكانية انبعاث شحنات سالبة (عرفت فيما بعد بأنها الكترونات) من سطح المعدن عند سقوط أشعة كهرومغناطيسية عليه وبطول موجي مناسب ووجد ما يلي :

(١) معدل الانبعاث الالكتروني منبعث من سطح المعدن يعتمد على كثافة الاشعاع الكهرومغناطيسي الساقط .

(٢) الطاقة لكل الكترون منبعث من سطح المعدن تعتمد على قيمة التردد الموجي للأشعة الساقطة .

ولم يتمكن العلماء من تفسير هذه الظاهرة طبقاً لنظرية ماكسويل الضوئية . وفي عام ١٩٠٥م فرض اينشتين أن عملية الامتصاص للضوء تحدث فقط في كميات منفصلة تسمى «كوانتا» أو «فوتون» ، حيث يختفي الفوتون بعد عملية الامتصاص بكامل طاقته التي مقدارها $E = hf$.

هذا المقدار من الطاقة يكتسبه الإلكترون داخل المعدن .

وبهذه الطريقة البسيطة استطاع اينشتين تطوير نظرية الكم لبلانك . وهذا بالطبع إضافة هامة على ازدواجية طبيعية الضوء الموجية والجسيمية . والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٢٤م منح اينشتين جائزة نوبل على هذا الاكتشاف المثير .

ب) الأشعة السينية :

اكتشفت هذه الأشعة لأول مرة عام ١٩١٢م بواسطة العالمان الألمانيان «رونتجن وماكس ثيودور فيلكس وأعضاء فريقه البحثي» . وتتميز هذه الأشعة بموجاتها الكهرومغناطيسية ذو طول موجي قصير ، وبالتالي لها قدرة فائقة على اختراق المواد المختلفة ، ولهذه الأشعة تأثير كمي ، وفي عام ١٩١٤م استطاع الفيزيائي الإنجليزي «هنري جوان جيفريز موزلي» من استخدام الأشعة السينية في الدراسات الطيفية لعدد من العناصر المختلفة ونجح في تصميم مطياف ذري .

وفي عام ١٩٢٣م ، درس الفيزيائي الأمريكي «أرثر هولي كمبتون» النظرية الفوتونية للأشعة الكهرومغناطيسية واكتشف ما سمي «بتأثير كمبتون» . هذا التأثير يوضح عملية التشتيت الفوتوني ، عندما يتصادم فوتون ساقط على الكترون في حالة سكون .

٣ ـ ٢) فيزياء الإلكترون والنماذج الذرية

أ) فيزياء الإلكترون :

تنبأ العلماء في القرن التاسع عشر بوجود جسيمات متناهية الصغر تحمل الشحنات الكهربائية . فيما بعد ، أوضحت التجارب هذا المفهوم خاصة تجارب

التحليل الكيميائى الكهربائى. وقد أدت التجارب على التوصيل الكهربائى للغازات تحت ضغوط منخفضة الى اكتشاف نوعين من الأشعة هما : أشعة الكاثود التى تأتى من الالكترود السالب فى أنابيب التفريغ الكهربائى، وأشعة القناة التى تأتى من الالكترود الموجب.

وفى عام ١٨٩٥م، تمكن الفيزيائى «جوزيف جون طومسون» من قياس النسبة بين الشحنة "q" وكتلة الجسم الحامل للشحنة "m" للأجسام المنبعثة من سطح المعدن بواسطة الانبعاث الكهروضوئى. هذه الأشعة تتطابق تماماً مع أشعة الكاثود. وفى عام ١٨٨٣م لاحظ المخترع الأمريكى «توماس إلفا أديسون» أن السلك الساخن يولد تياراً كهربياً، وهذه الطريقة سميت «الانبعاث الحرارى»، وفيما بعد أطلق العلماء عليها «تأثير أديسون». وفى عام ١٨٩٩م بين «طومسون» أن هذا النوع من الكهربية يتكون من جسيمات متشابهة فى مقدار الشحنة والكتلة. وفى عام ١٩١١ تمكن العالم «ميليكان» بنجاح من تعيين مقدار الشحنة الكهربية ووجد أنها تمثل عدداً صحيحاً من قيمة الوحدة الأساسية للشحنة "e". وتم تعيين مقدار الشحنة "e" بالقيمة 1.602×10^{-19} كولوم من معرفة النسبة بين الشحنة الكلية "q" والكتلة "m" وبمساواة "q" بالشحنة "e". وسمى الجسيم حامل الشحنة "e" بالالكترون، ووجد أن كتلة الالكترون تساوى 9.11×10^{-31} كيلوجرام. وأخيراً، بين طومسون وآخرون أن الأشعة الموجبة تتكون من جسيمات تحمل الشحنة "e" ولكنها موجبة. هذه الجسيمات تعرف الآن «بالأيونات الموجبة».



العالم روبرت اندروس ميليكان
(١٨٦٨-١٩٥٣م)
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٢٣م

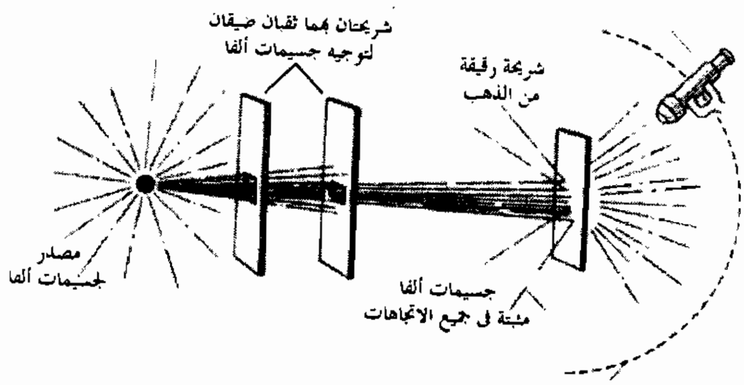
هذه الأيونات تنتج بعد إزالة الكترون أو أكثر من الذرة المتعادلة كهربائياً. ووجد أن هذه الأيونات ثقيلة جداً بالمقارنة بكتلة الالكترون، كما أن أصغر أيون موجب هو أيون الهيدروجين. ومن مفهوم طبيعة التحكم للشحنة والزمن أمكن التمييز بين جسمين مختلفين متواجدين في الحالة دون الذرية هما الالكترون سالب الشحنة والبروتون موجب الشحنة.

ب) النماذج الذرية:

في عام ١٩١٣م اكتشف الفيزيائي النيوزلندي «إنجليزي المولد» «أرنست راذرفورد» النشاط الاشعاعي لبعض المواد المشعة. وكان «طومسون» قد وضع في وقت مبكر نموذجاً لتصور الشكل الذري واصفاً إياه كجسم متناهي الصغر ومتعادل كهربائياً. وطبقاً لهذا النموذج تصبح فكرة التوزيع المنتظم للشحنات الكهربية الموجبة والسالبة واهية ولايمكن حدوثها. إلا أن نجاح «راذرفورد» في إجراء تجربته الشهيرة لدراسة تشتت جسيمات الفا الثقيلة موجبة الشحنة عند سقوطها على شريحة معدنية رقيقة من الذهب، اتضح أن قليلاً من جسيمات الفا فقط قد انحرف عن المرور خلال الشريحة. أما العدد الأعظم منها فقد نفذ بسهولة من الشريحة دون أي تأثير. من هنا وضع «راذرفورد» نموذجاً جديداً للشكل الذري. تتكون الذرة في هذا النموذج من مركز ثقيل يحتوي على شحنة موجبة ويحوم حول هذا المركز وفي مدارات خاصة الإلكترونات سالبة الشحنة. وتستقر الإلكترونات في مداراتها بفعل قوة الجاذبية الكهربائية بينها وبين الشحنات الموجبة في المركز. ويشبه هذا النموذج بـ«النظام الشمسي».



العالم أرنست راذرفورد
(١٨٧١-١٩٣٧م)
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٠٨م



جهاز التشتت الذى استعمله راذفورد فى وضع نموذجه الذرى.

والجدير بالذكر أن هذا النموذج لم يصمد طويلاً وسرعان ما تعارض مع «نظرية ماكسويل» للإشعاع المغناطيسى حيث إن دوران الإلكترون يؤدى إلى انبعاث أشعة كهرومغناطيسية تجعل القوة الكلية للنظام تنهار فى وقت قصير. وبالتالى يعود الوضع إلى نموذج «طومسون» السابق.

عند هذه النقطة تعارضت أسس الفيزياء الكلاسيكية مع النماذج الذرية التى تحدد الشكل الذرى للعناصر.

وفيما بعد، فرض الفيزيائى الداينماركى «نيل هنريك دافيد بوهر» إمكانية تواجد الذرات، بحيث تتحرك الكتروناتها فى مدارات خاصة دون أى انبعاث للأشعة الكهرومغناطيسية، هذه المدارات المسموح بها تسمى «حالات الاستقرار».

وترتبط هذه العملية بقيود الحركة، حيث إن كمية الحركة الدورانية للإلكترون (J) تأخذ قيمة تساوى عدداً صحيحاً من مضاعفات ثابت بلانك h مقسوماً على 2Π (حيث إن II تمثل النسبة بين محيط الدائرة وقطرها وهى نسبة ثابتة = $\frac{22}{2\pi}$). أى أن $J = \frac{nh}{2\pi} = nt$ و $\frac{h}{2\pi} = h$ ، n تمثل العدد الكمى ويأخذ القيم ١ ، ٢ ، ٣ ، .... إلى آخره. وتمكن بوهر من حساب انصاف اقطار المدارات ومناسيب طاقتها المختلفة. وفى عام ١٩١٣م نجح العالمان الأمريكى (ألمانى المولد) «جيمس فرنك» والألمانى «جوستاف هرتز» فى التأييد العملى لنموذج بوهر.

بعد ذلك طور «بوهر» نموذجه الذرى ونجح فى تفسير انبعاث الضوء وأنواع أخرى من الأشعة الكهرومغناطيسية من الذرات. وفرض إمكانية تهيج الإلكترونات بالذرة من مستوى الاستقرار (المستوى الأرضى) الأقل طاقة، وانتقاله إلى أعلى فى مدارات متهيجة ذات طاقة أكبر. وعندما يسقط الإلكترون من المنسوب الأعلى إلى المنسوب الأسفل بالذرة، فإن فوتوناً ينبعث طاقته تساوى

الفرق بين مقدار الطاقة فى المنسوب الأعلى وفى المنسوب الأسفل. على سبيل المثال فى طيف ذرة الهيدروجين وعندما يهبط الإلكترون المتهيج فى المدار رقم ٣ إلى المدار رقم ١ ، فإن الفوتون الناتج يختلف عن الفوتونين المتولدين من هبوط الإلكترون. أولاً من المدار ٣ إلى المدار ٢ ثم من المدار ٢ إلى المدار ١ ، بهذه الطريقة البسيطة استطاع «بوهر» تفسير طيف ذرة الهيدروجين وهو يختلف عن أسس الفيزياء الكلاسيكية.

ومن المعروف الآن، أن نموذج بوهر الذى كان محدوداً خاصة عند نفسير طيف الذرات متعددة الإلكترونات. كما أنه لم يعط أية حسابات لشدة خطوط الطيف وتحديد ألوانها إلا فى حالة ذرة الهيدروجين فقط. ولمحدودية هذا النموذج الذرى فى التنبؤ بالنتائج العملية ظل غير مقنعاً للفيزيائيين النظريين.

٣ ـ ٤) ميكانيكا الكم والفيزياء النووية

أ) ميكانيكا الكم:

فى الفترة بين ١٩٢٤ ـ ١٩٣٠م اهتم الفيزيائيون بتطوير منهج ديناميكى نظرى للمساعدة فى دراسة سلوك الأجسام دون الذرية. وفى عام ١٩٢٤م فرض الفيزيائيان الفرنسيان «لويس فيكتور» والأمريكى «دى برولى» أن الأجسام المادية لها خاصية موجبة مثل الأشعة الكهرومغناطيسية. هذا الفرض كان مدخلاً لما يسمى الآن «بميكانيكا الكم» أو «ميكانيكا الموجات». وبناء على ذلك فإن الطول الموجى لما يسمى موجات المادة يعطى بالعلاقة $\lambda = \frac{h}{P}$ حيث إن ($mv = P$) تمثل كمية الحركة للجسم الذى كتلته m وسرعته v). وموجات المادة تمثل موجات إرشادية عن حركة الجسم.

وقد اهتم الفيزيائيون الألمان «ويرنر هيزنبرج» و«ماكس بورن» و«أرنست ياسكوال» والنمساوى «ايروين شردونجر» بالنتيجة التى توصل إليها دى برولى عن الخاصية (المادية ـ الموجية) للأجسام. وساهم هؤلاء جميعاً فى تطوير فكرة دى برولى بطريقة رياضية قادرة على التعامل مع عدد من الظواهر الفيزيائية التى لم تعالج بقواعد الفيزياء الكلاسيكية. وبفضل ميكانيكا الكم، أمكن التأكد من نجاح نموذج بوهر للذرة عن طريق تكمم مناسيب الطاقة بالذرة. وأيضاً أمكن تركيب أكثر الذرات تعقيداً كما أمكن الدخول فى عالم الفيزياء النووية. وبالرغم أن ميكانيكا الكم تعتبر فى غاية الأهمية على المستوى إلا أن هناك تأثيرات محددة على المستوى الماكروسكوبى مثل خصائص لتبلور فى المواد الصلبة أمكن تفسيرها استناداً على قواعد ميكانيكا الكم.



العالم ويرنر هيزنبرج
ولد عام ١٩٠١م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٢م

وهناك قواعد إضافية ساهمت فى خلق صورة واضحة عن ميكانيكا الكم مثل اكتشاف أن للإلكترون مغناطيسية مستديمة وله كمية حركة دورانية وبرم ذاتى. وقد تبين أن خاصية البرم الذاتى موجودة فى معظم الجسيمات دون الذرية الأخرى. وفى عام ١٩٢٥م وضع الفيزيائى النمساوى «وولفجانج باولى» مبدأ الاستثناء والذى ينص على أنه لايوجد الكترونين بالذرة لهما نفس الأعداد الكمية. ونظراً أن هناك أربعة أعداد كمية لازمة لوصف حالة الإلكترون بالذرة، فإن مبدأ باولى يعتبر حيوياً جداً لفهم التركيب فى العناصر وتصنيفها فى الجدول الدورى.

وفى عام ١٩٢٨م نجح الفيزيائى الإنجليزى «پاول أدريان موريس ديراك» فى تخليق ميكانيكا الكم والنسبية التى إديا إلى التنبؤ بوجود جسيم البوزيترون كضديد للإلكترون له نفس كتلته ولكن يضاده فى الشحنة. وقد جعل «ديراك» ميكانيكا الكم فى أوجها.



العالم پاول أدريان ديرال
ولد فى إنجلترا عام ١٩٠٢م وتوفى عام ١٩٨٤م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٣م



صورة تذكارية التقطت للمؤلف مع العالم پاول أدريان موريس ديارك
عام ١٩٧٩م

وكنتيجة لأفكار «بوهر» تطورت أفكار إحصائية عديدة أدت إلى تطوير مفاهيم الفيزياء الحديثة. وارتبطت هذه الأفكار بنظرية الاحتمالات التى سادت فى الدراسات المتعلقة بالفيزياء الذرية والجزيئية وعلى المستوى دون الذرى.

ب) الفيزياء النووية:

فى عام ١٨٩٦م، اكتشف «بيكرل» النشاط الاشعاعى لعنصر اليورانيوم الخام. وتبين فى وقت لاحق، أن النشاط الاشعاعى للعناصر غير المستقرة يتكون من ثلاثة أنواع من الأشعة المنبعثة هى :

(أ) أشعة الفا : اكتشف «راذرفورد» أنها جسيمات تمثل نوى ذرات الهليوم.

(ب) أشعة بيتا : عبارة عن إلكترونات سريعة جداً.

(جـ) أشعة جاماً : أحد أطياف الأشعة الكهرومغناطيسية ذات طول موجى قصير.

وفى عام ١٨٩٨م نجحت الفيزيائية الفرنسية «مارى بيير كورى» من فصل عنصرين نشطين هما الراديوم والبولونيوم من عنصر اليورانيوم الخام.

وفى عام ١٩٠٣م، تمكن كل من «راذرفورد» والكيميائى الفيزيائى الانجليزى «فريدريك سودى» تحويل عنصر إلى آخر عن طريق انبعاث أشعة ألفا أو بيتا.

والجدير بالذكر أن العمليات الإشعاعية فى العناصر غير المستقرة وجد أنها تخضع بالكامل إلى الميكانيكا الإحصائية، ولا توجد أية طريقة أخرى يمكن استخدامها لمعرفة أى من الذرات فى العناصر المشعة قد تتحلل وفى أى وقت بالضبط. كما تبين أن نوى الذرات الثقيلة جداً تكون ذات نشاط اشعاعى مرتفع. وفى عام ١٩١٩م، تمكن راذرفورد من تحويل ذرات الهيدروجين إلى ذرات الأوكسجين عن طريق قذفها بجسيمات الفا. وبالتالى أمكن انتاج عناصر جديدة بطريقة صناعية.

وفى نفس الوقت، ازدادت معرفة العلماء حول طبيعة ووفرة النظائر خاصة بعد تصميم جهاز مطياف الكتلة. كما وضع نموذج نهائى يوضح الشكل الذرى، بحيث تحتوى النواة فى الذرة على شحنة موجبة وتتركز بها معظم كتلة الذرة. وسميت حوامل الشحنة الموجبة بالنواة بالبروتونات، (وفيما عدا ذرة الهيدروجين) فإن كتلة النواة تتضمن وجود أجسام إضافية لها، تكون غير مشحونة. وفى عام ١٩٣٢م، اكتشف الفيزيائى الإنجليزى «سير جيمس كادويك» النيوترون، وهو جسيم نووى عديم الشحنة وتزيد كتلته قليلاً عن كتلة البروتون ومقدارها ١,٦٧٥ × ١٠⁻²⁷ كيلوجرام. والآن نعرف أن نوى الذرات تتكون من بروتونات ونيوترونات أطلق عليها اسم «نيكلونات». والعدد الذرى الذى يميز نوى العناصر المختلفة يمثل ببساطة عدد البروتونات بالنواة. أما عدد النظير أو العدد الكتلى الذرى فهو مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات بالنواة. على

سبيل المثال، ذرات الأكسجين، لها عدد ذرى يساوى ٨ (أى أن نواتها تحتوى على ثمانى بروتونات) إلا أن الأكسجين له ثلاثة نظائر مختلفة هى O^{16}، O^{17}. O^{18} تحتوى نوى كل منها على عدد ثمانى وتسع وعشر من النيوترونات على الترتيب.

ونظراً أن الشحنات الكهربية الموجبة تتنافر ويطرد بعضها بعض، فقد توقع العلماء أن نوى الذرات (ماعدا الهيدروجين) التى تحتوى على أكثر من بروتون قد تتناثر إلى أجزاء صغيرة بفعل قوة التنافر الكهربية. إلا أن هذا لم يحدث وذلك بسبب وجود قوة جاذبة شديدة بالنواة، تسمى القوة النووية الشديدة تجعل النيكلونات بها متماسكة مع بعضها. ووجد أن الطاقة المرتبطة بالقوة النووية الشديدة تكون هائلة وتقدر بملايين المرات ضعف طاقة الإلكترونات المقيدة فى مدارات مختلفة بالذرة. ولذلك يحتاج انبعاث جسيم ألف (يتكون من بروتونين ونيوترونين) إلى كمية من الطاقة تكون كافية للتغلب على قوة التجاذب النووى. وفى عام ١٩٢٨م، استطاع الفيزيائيون الأمريكيون «ادوارد يو. كوندن» و«جورج جاموا» و«رونالد ويلفريد جورناى» من تطبيق قواعد ميكانيكا الكم وتفسير عملية انبعاث أشعة الفا وبيتا. وتبين أن الطبيعة الإحصائية الاحتمالية تسمح لجسيمات الفا بالهروب من النوى النشطة حتى إذا كانت قيمة متوسط طاقتهم غير كافية للتغلب على القوة النووية الشديدة، أما انحلال بيتا فقد وجد أنه نتيجة لحدوث اضطراب للنيوترونات بالنواة. فالنيوترون يتحول بالنواة إلى الكترون (جسيم بيتا) وبروتون. ويطرد الإلكترون فوراً خارج النواة بينما يبقى البروتون بها، مما يزيد عدد البروتونات فى النواة الأصلية (النواة الأم) واحداً عن العدد الأصلى بها وبذلك تتكون نواة وليدة تسمى (النواة الابنة). وبذلك يزداد العدد الذرى ويتغير ترتيب العنصر الوليد فى الجدول الدورى للعناصر.

وقد وجد أن عملية انبعاث أشعة الفا أو بيتا تكون مصحوبة عادة بانبعاث أشعة جاما (فوتون) حيث إن تلك العملية تترك النواة الوليدة فى حالة زائدة من الطاقة.

والجدير بالذكر أنه فى جميع العمليات النووية تنطلق طاقة كبيرة يحدد مقدارها من علاقة اينشتين $E = mc^2$. وفى نهاية عملية التحويل النووى تكون كتلة النوى الناتجة أقل من كتلة النوى الأصلية، والفرق فى الكتل ينطلق على هيئة طاقة.

٣-٥) تطور الفيزياء منذ عام ١٩٣٠م

خلال العقود القليلة الماضية، شهد علم الفيزياء توسعاً كبيراً فى عدة مجالات استناداً على الانجازات الباهرة واكتشاف القواعد والنظريات الفيزيائية الأساسية فى الثلث الأول من القرن العشرين، كما ذكر سلفاً. والتوسع الحالى فى علم

الفيزياء ارتبط بمجال التكنولوجيا المتقدمة التى أثرت على نمط الحياة العصرية للإنسان مثل تكنولوجيا الكمبيوتر والإلكترونيات الدقيقة وتطبيقات الطاقة النووية وصناعة المفاعلات النووية والمعجلات والليزر... وخلافه.

فيما يلى سوف نلقى الضوء على بعض من هذه التكنولوجيات..

أ) المعجلات:

كانت البحوث الأولية عن خصائص نواة الذرة التى أجراها «راذرفورد» وآخرين محددة بانبعاث الطاقة العالية من العناصر الطبيعية المشعة، بغرض التدقيق فى التركيب الذرى لهذا العناصر.

وفى عام ١٩٣٢م، نجح الفيزيائى الإنجليزى «سير جون دوجلاس كوكروفت» ولأول مرة من إنتاج انبعاث اشعاعى ذو طاقة عالية. وفى نفس العام تمكن الفيزيائى الإنجليزى «أرنست توماس سنتون والتون» من استخدام مولد للفولتات العالية فى تعجيل البروتونات بطاقة تقدر بـ ٧٠٠,٠٠٠ الكترون فولت (٧٠٠ كيلو الكتون فولت). هذه البروتونات المعجلة تم قذفها على ذرات الليثيوم بغرض تحويلها إلى ذرات الهليوم.

(مع العلم بأن واحد الكترون فولت يمثل مقدار الطاقة التى يكتسبها الكترون واحد عندما يعجل بجهد كهربائى مقداره واحد فولت). وهذه الطاقة تكافئ $١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ چول.

والمعجلات الحديثة تنتج طاقات عالية تقدر بملايين من الإلكترون فولت أو بلايين من الإلكترون فولت وحتى تصل إلى تريليون من الإلكترون فولت وتكتب بالوحدات MeV، أو GeV، أو TeV.. وهكذا.

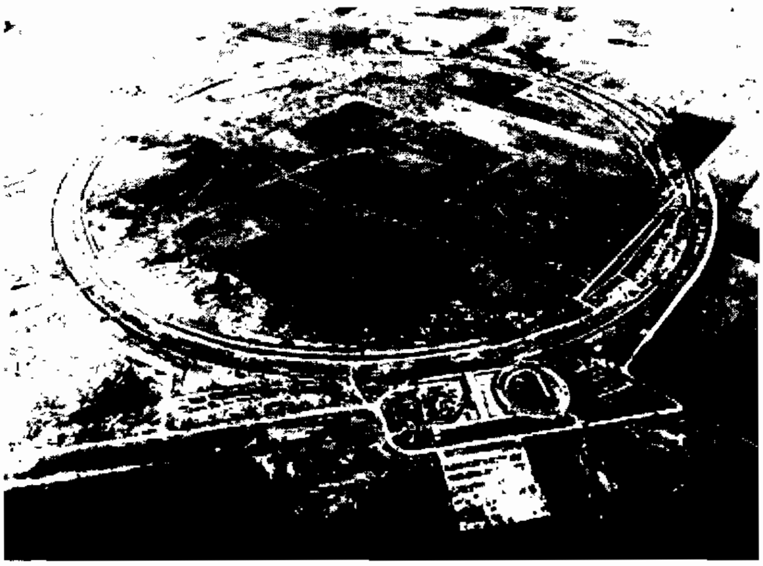
وفى عام ١٩٣٢م اخترع الفيزيائى الأمريكى «روبرت چ. ڤان دى جراف» أول معجل الذى سمه بأسمه تبع ذلك اختراع معجل السيكلوترون بواسطة الفيزيائيان الأمريكيان «أورلاندو لورانس» و«ميلتون ستانلى ليڤنجستون».

وفى معجل السيكلوترون يستخدم المجال المغناطيسى فى انحناء مسارات الشحنات الكهربية وجعلها تسير فى دوائر.

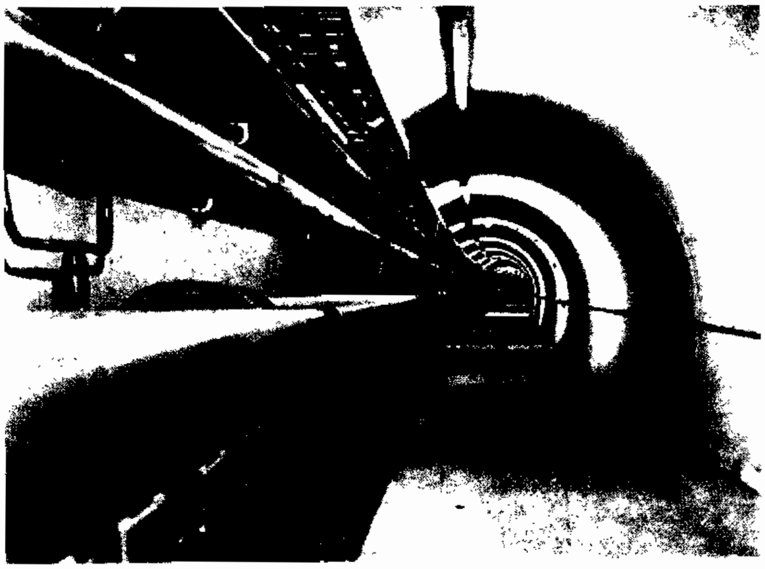
وتكتسب هذه الشحنات بمعدل نصف دورة ركلة كهربية تزيد من طاقتها، وفى النهاية تتراكم هذه الطاقات حتى تصل إلى القيمة العالية المطلوبة. وأمكن تعجيل البروتون بواسطة معجل السيكلوترون بطاقة 10 MeV (عشرة ميجا الكترون فولت).

وفى الفترة من ١٩٣٩ ـ ١٩٤٥م نجح الفيزيائيان الأمريكى «ادولين ماتيسون ماكميلان» والسوفيتى «فلاديمير فيكسلير» من تصميم معجل السنكرترون. وبعد انتهاء الحرب العالمية الثانية حدث تطور كبير فى مجال صناعة المعجلات التى تستخدم فى تعجيل حزم من الإلكترونات أو البروتونات أو الديوترينات أو الأيونات الثقيلة وأيضاً الأشعة السينية.

على سبيل المثال، المعجل الخطى فى مدينة ستانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية يستخدم فى تعجيل الإلكترونات لمسافة ٣,٢ كيلومتر لتكتسب طاقة مقدارها ٢٠ جيجا إلكترون ڤولت (٢٠ x ١٠^٩ إلكترون ڤولت).



معجل أمريكى فى مدينة استانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية



انحناءات مغناطيسية بالمعجل للتحكم فى مسار البروتونات.



جهاز تغذية كهربية بالمعجل بقدرة كهربية تقدر بـ ٧٥٠,٠٠٠ ڤولت، يستخدم فى توليد البروتونات واعطاؤها طاقة معجلة ابتدائية قبل دخولها فى المعجل.

والجدير بالذكر أن المعجلات ذوات الطاقة المنخفضة تستخدم فى التطبيقات الصناعية وفى الدراسات المعملية الخاصة بتركيب الجسيمات الكونية الأولية. وللحصول على معلومات تفصيلية فى هذا الموضوع يجب استخدام مقذوفات نووية ذو طاقة عالية. ولذلك شيدت معجلات كبيرة الحجم. وفى عام ١٩٥٠م أنشئ معجل بطاقة ٣ ميجا إلكترون ڤولت فى المعمل القومى ببروكهاڤن بولاية نيويورك الأمريكية.

وفى الوقت الحالى يتوفر فى العالم أكبر المعجلات البروتونية بطاقة تقدر بواحد تيرا إلكترون ڤولت (١×١٠^{١٢} إلكترون ڤولت)، ويوجد أحد هذه المعجلات العملاقة فى معمل «فيرمى» القومى بالقرب من مدينة بتافيا بولاية الينوى الأمريكية. والمعجل الآخر موجود بالمعمل الأوروبى فى سيرن بمدينة جنيف بسويسرا.

ب ـ الكاشفات النووية والأشعة الكونية :

(١) الكاشفات النووية :

توجت لأول مرة عملية رصد وتحليل الجسيمات الأولية بعد معرفة قدرة هذه الجسيمات وتأثيرها الفوتوغرافى للمستحلبات، وكذلك تنشيط المواد الوميضية. وصمم الفيزيائى الإنجليزى «شارلز طومسون ريز ويلسون» غرفة السحاب، حيث تتكثف قطرات الماء على الأيونات خلال مرورها فى الغرفة. وبواسطة المجال الكهربى أو المغناطيسى تنحنى مسارات هذه الأيونات التى تعطى معلومات عن مقدار الشحنة وكمية الحركة.

وفى عام ١٩٥٢م، طور الفيزيائى «دونالد أرثر جلاسور» غرفة السحاب تلك ونجح فى تصميم غرفة الفقاعة، حيث استخدام الهيدروجين السائل بدلاً من الهواء. والأيونات المنتجة بواسطة الأجسام السريعة تصبح مركز للغليان، وتترك الفقاعات المتولدة مسارات ملحوظة. وتتميز غرفة الفقاعة بحدوث تفاعلات أخرى لاتحدث فى غرفة السحاب، كما أن الفقاعات تنتشر أسرع من قطرات الماء ويسمح ذلك بحدوث دورات متكررة للأيونات.

وفى عام ١٩٥٠م تم تصميم غرفة الشرارة. وفى هذا الجهاز تستخدم ألواح عديدة متوازية ومحفوظة عند ڤولتية كهربائية مرتفعة، وفى جو غازى مناسب. وتمر الأيونات الوليدة بين اللوحين محدثة شرارة كهربية خلال الغاز.

والجدير بالذكر أن الفيزيائى الألمانى «هانس جيجر» ابتكر عداد التفريغ الكهربى الذى طوره الفيزيائى الأمريكى «ولتر ميللر» ، والآن يسمى هذا العداد «جيجر ـ ميللر». وفى عام ١٩٤٧م اكتشف الفيزيائى الأمريكى «هارتموت پاول

كلمان» وآخرين العداد الوميضي، حيث تستطيع الأيونات عند مرورها خلال بلورات عضوية خاصة أو في السوائل من إنتاج ومضة ضوئية.

(٢) الأشعة الكونية:

في عام ١٩١١م، سبق أن اكتشف الفيزيائي النمساوي الأمريكي «فيكتور فرانز هيس» الأشعة الكونية المتواجدة خارج الغلاف الجوي الأرضي. ووجد أن هذه الأشعة تتكون من شحنات موجبة معظمها بروتونات وبطاقة تتراوح بين ١ جيجا الكترون ڤولت إلى ١٠^١١ جيجا الكترون ڤولت (لاحظ مقارنة ذلك بمقدار أعلى طاقة معجلة للبروتون وهي ٣٠ جيجا إلكترون ڤولت المنتجة بواسطة المعجلات)، وفي عام ١٩٥٩م وبواسطة القمر الصناعي اكتشف الفيزيائي الأمريكي «ڤان ألين» أن الأشعة الكونية حبيسة في مدارات حول الأرض وسمي الحزام الاشعاعي بحزام «ڤان ألين». كما اكتشف جسيمات ثانوية عديدة تنتج عن تصادم البروتونات النشطة مع نوى غاز النيتروجين أو الأوكسجين. وتنتشر هذه الجسيمات الثانوية خلال الرذاذ الاشعاعي الكوني. وحتى الآن لم يتمكن العلماء من فهم طبيعة الأشعة الكونية البروتونية. إلا أن هناك بعض المعلومات التي تأتي إلينا من الشمس أو النجوم الأخرى ترجح احتمال وجود مجالات كونية شديدة تعمل خلال فترات زمنية طويلة على تعجيل البروتونات في المادة الكونية والتي تتحرك مسرعة في اتجاه الأرض.

(ج) الجسيمات الأولية:

بالإضافة إلى الجسيمات الأولية المعروفة كالإلكترون والبروتون والنيوترون والفوتون توجد أنواع عديدة أخرى من هذه الجسيمات الأولية. ففي عام ١٩٣٢م اكتشف العالم الأمريكي «كارل دافيد أندرسون» ضديد الإلكترون الذي سمي بـ«البوزيترون» الذي تنبأ بوجوده الفيزيائي «ديراك» عام ١٩٢٨م. ولاحظ أندرسون تخليق زوج من الإلكترون والبوزيترون عند إيقاف أشعة جاما الكونية بالقرب من نواة ثقيلة. كما أمكن افناء زوج من الإلكترون واليوزيترون عندما يلتقيان ويتولد فوتون من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية.

اكتشاف الميون

في عام ١٩٣٥م، طور الفيزيائي الياباني «يوكاوا هيدكي» نظرية فيزيائية لشرح تماسك النواة. فبدلاً من التنافر المتبادل لبروتونات النواة فرض «يوكاوا» وجود جسيم وسيط تتراوح كتلته بين قيمة كتلة الإلكترون والبروتون.



العالم الياباني يوكاوا هيدكي
ولد عام ١٩٠٧م
حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٤٧م

وفي عام ١٩٣٦م اكتشف «أندرسون» وشركاؤه جسيم جديد تساوى كتلته ٢٠٧ مرة ضعف كتلة الإلكترون كشعاع كوني ثانوي، ويعرف هذا الجسيم الآن باسم «ميو - ميزون». وفي بادئ الأمر اعتقد «يوكاوا» أن هذا الجسيم يعمل كلاصق نووى، إلا أن الفيزيائي الإنجليزى «سيسل فرنك پاول» وآخرين اكتشفوا جسيم آخر كتلته ٢٧٠ مرة ضعف كتلة الإلكترون يسمى الآن «باى - ميزون» (يمكن الحصول عليه أيضاً من الأشعة الكونية الثانوية). هذا الجسيم يعتبر الحلقة المفقودة في نظرية «يوكاوا».

وقد ساهمت المعجلات الكبيرة في اكتشاف جسيمات أولية عديدة، بعضها ثقيل وتسمى هيدرونات وتعمل على ترابط النوى كنتيجة للتفاعلات النووية الشديدة، وتشمل الهيدرونات أنواع أخرى مثل الهيبرونات وميزونات ثقيلة تتراوح كتلتها من ١ - ٣ ضعف كتلة البروتون، وأيضاً بوزونات حاملة للقوة النووية الضعيفة.

ووجد أن هذه الأجسام الأولية قد تكون متعادلة كهربياً أو مشحونة بشحنة موجبة أو سالبة ومقدار شحنتها لايتعدى الشحنة الأولية "e". وتتحلل هذه الجسيمات الثقيلة إلى أجسام أخرى خفيفة في فترة زمنية قصيرة تقدر بـ $١٠^{-٨}$ إلى $١٠^{-١٤}$ ثانية.

والجدير بالذكر أن كل جسيم له ضديد مساو له في الكتلة ولكنه يضاده في الشحنة ويحمل بعض من كمية الحركة الدورانية ويتبعون جميعاً قانون البقاء الفيزيائي.

ومن أجل شرح الفشل الظاهرى فى تحقيق مبدأ البقاء فى الطاقة وكمية الحركة فرض الفيزيائى «پاولى» عام ١٩٣١م وجود جسيم متعادل كهربائياً ذو كتلة صفرية. هذا الجسم يحمل طاقة وله كمية حركة (مثل جسيم الفوتون). واستكمل الفيزيائى الأمريكى (إيطالى المولد) «اينريكو فيرمى» هذه الدراسات وبالفعل اكتشف وجود هذا الجسيم الذى يعتبر الحلقة المفقودة وأطلق عليه اسم «النيوترينو»، وهو جسم غير مشحون ومتناهى الصغر، ويمكنه الهروب بسهولة من الأشعة الكونية واختراقه طبقات الأرض الداخلية مع احتمال قوى لأسره واحتوائه.

وفى الفترة بين ١٩٤٠ ـ ١٩٥٠م أجريت أبحاث عديدة على الأشعة الكونية بفرض اكتشاف أجسام أولية جديدة لم يتوقع بوجودها أحد. هذه الأجسام أطلق عليها اسم «الأجسام الغريبة». وفى عام ١٩٦٥م استخدمت المعجلات الكبيرة فى اكتشاف أجسام أولية جديدة، بالإضافة إلى الأجسام الأولية المعروفة الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والفوتونات... وغيرها.

وقد وجد مؤخراً أن هذه التسمية «أجسام أولية» تكون غير دقيقة، حيث اكتشف أن للبروتون تركيب داخلى معقد. والجدير بالذكر أن مجال فيزياء المواد الأولية يعتنى أساساً بالتركيب الداخلى للنوى المختلفة فى الذرات، وأيضاً دراسة التفاعلات النووية بين الأجسام الأولية المشتركة فى التشكيل النووى.

وفى الوقت الحالى يبذل الفيزيائيون الجهود المضنية لتعلم المبادئ الأساسية فى «علم المواد». وفى عام ١٩٦٤م وضع الفيزيائيان الأمريكيان «موراى چيل ـ مان» و«جورج زوانج» نظرية جديدة تنبأت بوجود أجسام أولية جديدة أطلق عليها اسم «الكواركات» وهى دون جسمية ولها شحنة مقدارها جزء (كسرى) من قيمة الشحنة الأساسية "e". وطبقاً لهذا النظرية لابد وأن يتكون البروتون من عدد ثلاثة كواركات. وحتى الآن لم يشاهد عملياً وجود الكوارك فى حالة منفردة. ووجوده مرتبط بتوافر الشروط الأساسية التى توافرت أثناء خلق الكون فى الأزمنة السحيقة. وفى عام ١٩٧٤م فرضت النظرية وجود ثلاثة أنواع مختلفة من الكواركات.

(د) نظرية المجال الموحد :

من المعروف أن دراسة التفاعلات بين الأجسام الأولية والكواركات «فى حالة وجودها» تعتبر من أصعب البحوث فى مجال علوم المواد. ومن أجل فهم لطبيعة هذه التفاعلات وضع العلماء فروض نظرية تعتمد على التناظر بين أى نوعين من الأجسام المتفاعلة وسميت هذه النظرية «نظرية المقياس» "Gauge theory"، على سبيل المثال يؤدى التناظر بين النيوترون والبروتون إلى عدم تغيير القوة النووية

الشديدة بينهما. وأيضاً وجد أن التفاعلات الكهربية والمغناطيسية للأجسام المشحونة المتفاعلة لاتتأثر بحدوث أى توليفة بين الجهود الكهربية والمغناطيسية.



صورة تذكارية للمؤلف مع العالم الباكستانى عبدالسلام عام ١٩٧٩م الحاصل على جائزة نوبل فى الفيزياء فى نفس العام.

وفى عام ١٩٦٨م وضع الفيزيائيان الباكستانى «عبدالسلام» والأمريكى «ستيفان وينبرج» فروض نظرية المقياس القوية، وبالتالى تمكنا من دمج التفاعلات النووية الضعيفة مع القوة الكهرومغناطيسية. وقد طبقت هذه النظرية بنجاح على «اللبتونات» ضعيفة التفاعل (وتشمل الإلكترونات والنيوترينوات وميزونات ـ ميو وضديداتها). ومؤخراً أمكن تطبيق هذه النظرية على الهيدرونات (الأجسام شديدة التفاعل). وعموماً يمكن تطبيق نظرية المقياس على أى مجال للقوة يسمح باتمام التفاعل. أى يمكن جمع القوى المؤثرة على الأجسام المختلفة فى «نظرية المجال الموحد». وحتماً يعتمد ذلك على قواعد التناظر بين الأجسام التى ترتبط بالمعضلة الرياضية المعقدة، مما أثر على وضع مفهوم واضح حول طبيعة تكون المواد. والجدير بالذكر أن العلماء فرضوا وجود ما يسمى «بالتناظر الفائق» الذى يربط مباشرة العلاقة بين الفيرمونات والبوزونات بعضهما بالآخر. والآن لدينا منهج نظرى لمعالجة هذه القضية يعرف باسم «نظرية الوتر»، فى هذه النظرية فرض أن الأجسام الأساسية تتحرك كالأوتار فى بعد واحد طوله لايتعدى $١٠^{-٣٥}$ متر. وقد عالجت هذه النظرية عدداً من قضايا المجال الموحد، ومازال الوضع فى إطار متقدم للتصور النظرى لحقيقة مفهوم القوة الكونية الموحدة.

(و) المفاعلات النووية:

فى عام ١٩٣١م، اكتشف الفيزيائى الأمريكى «هارولد كلايتون يورى» عنصر الديوتيريم كنظير لعنصر الهيدروجين، ويستخدم الديوتيريم فى إنتاج الماء الثقيل، وهو يتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد، ويستخدم كمقذوف نووى فعال

لإنتاج التفاعل النووى. وفى عام ١٩٣٣م تمكن الفيزيائيان الفرنسيان «إرين وفريدريك جوليت كورى» من إنتاج نوى صناعية ذو نشاط اشعاعى. وفى عام ١٩٣٤م أمكن إنتاج النظائر المشعة التى تستخدم فى العديد من التطبيقات فى المجالات الطبية والبيولوجية والكيميائية، وفى مجال المحافظة على الآثار، وفى العديد من العلوم الأخرى.

وقد حاول الفيزيائى «فيرمى» وآخرون إجراء سلسلة من التجارب بهدف إنتاج عناصر أخرى نتيجة لقذف عنصر اليورانيوم الثقيل بالنيوترونات. وبعد أن كللت جهودهم بالنجاح، تابع العديد من العلماء هذه الجهود مثل الألمانيان «أتوهاهن» و«فريتزستراسمان» والنمساوى «ليزميتنار» والإنجليزى «أتو روبرت فريش». وتبين أن نوى اليورانيوم تنقسم إلى جزئين، هذه الظاهرة تسمى «الإنشطار النووى». وتصاحب عملية الإنشطار تحرير طاقة هائلة وإنتاج بعض النيوترونات، وبذلك يتحقق مبدأ بقاء الكتلة للنوى قبل التفاعل وبعده. هذه النتيجة فرضت إمكانية حدوث تفاعل إنشطارى ذاتى متسلسل.



العالم الإيطالى اينريكو فيرمى (١٩٠١ ١٩٥٤م) وسط الصورة حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٣٨م..
على يمين الصورة العالم ف. بلوك وعلى يسار الصورة العالم ج. أولنبيك.

وفى عام ١٩٤٢م، نجح «فيرمى» ومجموعته البحثية فى تشييد أول مفاعل إنشطارى نووى. أدى ذلك إلى إنتاج القنبلة الذرية الأولى عام ١٩٤٥م تحت إشراف الفيزيائى الأمريكى «ج. روبرت أوبنهيمر». وفى عام ١٩٥٦م تم استخدام أول مفاعل نووى فى إنجلترا لتوليد الطاقة الكهربية بقدرة ٧٨ مليون واط.

وبعد النجاح فى دراسة توليد الطاقة فى النجوم، تمكن الفيزيائى الألمانى - الأمريكى «هانس البرشت بيتا» من بيان أن هذه الطاقة تصاحب عمليات الإندماج النووى فى النجم عند درجات حرارة مرتفعة جداً تقدر بملايين الدرجات المئوية. فى هذا التفاعل تندمج أربع نوى من عنصر الهيدروجين لتتحول إلى نواة عنصر الهليوم. وينتج عن ذلك توليد زوج من البوزيترونات، وانبعاث كمية هائلة من الطاقة للحفاظ على مبدأ بقاء الكتلة.

وفى عام ١٩٥٢م، تطورت تكنولوجيا الإندماج النووى واستطاع الفيزيائى المجرى - الأمريكى «ادوارد تيلور» من تصميم القنبلة الهيدروجينية التى تفوق قوتها القنبلة النووية الإنشطارية. والجدير بالذكر أن تفجير القنبلة الهيدروجينية يحتاج إلى تفجير نووى إنشطارى بداخلها لتوليد درجات الحرارة المرتفعة لحدوث الإندماج.

ومنذ ذلك الوقت، يبذل العلماء الجهود المضنية بحثاً عن طريقة لإنتاج الطاقة النظيفة بدلاً من إنتاج طاقة التدمير. ومن المعروف أن التكنولوجيا النووية الإندماجية أكثر أماناً وأقل خطورة إشعاعية عنها فى حالة المفاعلات النووية الإنشطارية. كما أنها تعتبر مصدراً لا نهائياً للطاقة نظراً لتوافر عنصر الهيدروجين فى المخزون المائى الأرضى الهائل.

والجدير بالذكر أن الباحثين فى جامعة برنستون الأمريكية تمكنوا من إنتاج طاقة نووية إندماجية نظيفة باستخدام مفاعل «توكاماك». وأمكن إنتاج قدرة كهربية مقدارها ٥,٦ مليون واط. إلا أن مفاعل توكاماك يعتبر غير اقتصادى كمصدر لتوليد الطاقة الكهربية، حيث يستهلك طاقة عالية فى تشغيله تفوق الطاقة المنتجة.

(ز) فيزياء المواد الصلبة:

فى المواد الصلبة، تكون الذرات مترتبة ومتقاربة بعضها لبعض، مما يؤدى إلى وجود قوة تفاعلية شديدة بينها يكون لها مؤثرات جانبية على خواص المواد لا يمكن مشاهدتها فى الحالة الغازية (حيث تكون الجزيئات متباعدة عن بعضها وتتحرك باستقلالية). مما يكسب المواد الصلبة خصائص ميكانيكية وكهربائية ومغناطيسية وحرارية، وأيضاً خصائص بصرية مميزة. وحتى الآن، مازالت دراسة هذه الخصائص بطريقة نظرية صعبة للغاية.

ومن أهم الخصائص المميزة لمعظم المواد الصلبة «التركيب البللورى»، حيث ترتب الذرات على هيئة مجاميع هندسية منتظمة ومكررة دورياً، ويتم ذلك تحت

تأثير قوى مختلفة، على سبيل المثال فى حالة ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) تكون القوة تحت تأثير الرابطة الأيونية، وتنتج عن تجاذب الشحنات بين الأيونات المكونة للمادة. أما فى حالة «الماس» تكون القوة ناتجة عن الرابطة التساهمية، حيث تشارك الإلكترونات بعضها داخل الذرات المكونة للمادة. أما فى حالة المادة الخاملة مثل النيون فإن القوة بين الذرات لاتتبع أى من هذه الروابط لكنها تكون نتيجة مايسمى «بقوة فان دى رڤال» حيث سميت باسم الفيزيائى الهولندى «يوهانسن ديدريك فان دى رفال». هذه القوى تتواجد بين الجزيئات المتعادلة كهربائياً كنتيجة للاستقطاب الكهربى. ومن ناحية أخرى يتكون فى المعادن رابطة تسمى «الإلكترون الغازى» أو الإلكترونات الحرة التى تنتقل بين مدارات الذرات الخارجية، وتشارك فى جميع ذرات المعدن مما ينعكس على خصائص المعدن الكهربية والمغناطيسية والحرارية.

وبينما تتميز الذرات فى الغازات بمناسيب طاقة حدية، تصبح هذه المناسيب الطاقية متسعة كلما تقاربت الذرات مع بعضها فى حالة المادة الصلبة. وتتحدد الخصائص الفيزيائية للمادة الصلبة بمدى اتساع الأنطقة الطاقية بها والتواصل بينها. والفاصل بين الأنطقة الطاقية يسمى «النطاق الممنوع»، حيث لايمكن أن يتواجد به أى إلكترون، وذلك يضع قيوداً على حركة الإلكترون بين الأنطقة الطاقية. مما يجعل للمادة خصائص عازلة للكهرباء أو للحرارة.

وإذا كان الفاصل بين الأنطقة الطاقية صغير ارتبط ذلك بسهولة حركة الإلكترونات التى يمكنها القفز من نطاق إلى آخر، وتكتسب المادة خاصية التوصيل الكهربى والحرارى. وهناك مواد صلبة شبه موصلة، ويوجد منها نوعان أحدهما يكون من نوع ـ n وتكون أنطقة الطاقة به منخفضة نتيجة لإضافة بعض الشوائب مثل : إضافة عنصر الأرسنيك إلى مادة السليكون. فى هذه الحالة تصبح المادة مانحة "donor" للإلكترونات. والنوع الآخر يكون من نوع ـ P كما هو الحال فى مادة الجاليوم. هذا النوع يكون مستقبلاً (acceptor) للإلكترونات، ويحتوى على فراغات «أو ثقوب» تتحرك كشحنة موجبة مميزة للتمثيل الإنشائى الإلكترونى.

والجدير بالذكر أن الفيزيائى الأمريكى «جون باردين» طور العديد من الأجهزة الحديثة مثل الترانزستورات التى تعتمد أساساً على مواد أشباه الموصلات.

أما الخاصية المغناطيسية فى المواد الصلبة فتنشأ من إمكانية تمثيل الإلكترونات بها كأقطاب مغناطيسية. كما أن اليرم الذاتى للإلكترون حول نفسه يلعب دوراً

كبيراً فى الخصائص المغناطيسية للمواد. ومن المعروف أن المواد الكهروحديدية مثل الحديد والنيكل تفقد المغناطيسية المثبتة العادية بها عند درجة حرارة عالية ومميزة تسمى «درجة حرارة كورى».

كما أن المقاومة الكهربية للمواد الصلبة عادة تقل مع تقليل درجة الحرارة. وبعض من المواد الصلبة تتميز بخاصية التوصيل الكهربى الفائق، حيث تصبح مقاومتها الكهربائية منخفضة أو شبه منعدمة عند درجات حرارة منخفضة جداً. هذه الخواص والظواهر تعتمد على نظرية التكمم، ويمكن وصفها عن طريق جسيمات فعالة مثل «الفوتونات» و«البلورونات» و«المفناتونات».

(ن) فيزياء الحرارة المنخفضة:

اكتشف العلماء أن بعض المواد يكون لها سلوكا مدهشاً عند درجات الحرارة المنخفضة. وفى بداية القرن العشرين طور الفيزيائى الهولندى «هايك كامرلينجز أوناس» طريقة مبتكرة لبلوغ درجات حرارة منخفضة. كما اكتشف خاصية التوصيل الفائقة لعنصر الزئبق الذى يفقد مقاومته الكهربائية عند درجة حرارة حوالى أربعة درجات مطلقة. والآن، لدينا العديد من العناصر والسبائك والمركبات المختلفة التى تتميز بخاصية التوصيل الفائق عند درجة حرارة صفر مطلق تقريباً.

وتستخدم هذه المواد كعوازل مغناطيسية. وفى العقدين السابقين اهتم العديد من العلماء بهذه الظاهرة، حيث طور الفيزيائيون الأمريكيون «جون باردين» و«ليون كوبر» و«جون روبرت شريفر» طرق نظرية لمعالجة ظاهرة التوصل الفائق المعقدة التى تتضمن معاناة الإلكترونات فى الشبيكة البلورية للمادة والجدير بالذكر أن العلماء قدموا اكتشافات رائعة فى هذا المجال، حيث وجدوا أن الهليوم السائل لايتجمد عند درجة الحرارة اثنين درجة مطلقة كما كان معروفاً، بل أن السائل الاعتيادى للهليوم I يتحول عند هذه القيمة إلى مائع فائق للهليوم II. ويتميز هذا المائع الفائق بانعدام اللزوجة وقدرته العالية للتوصيل الحرارى التى تقدر بـ ١٠٠٠ مرة ضعف التوصيل الحرارى للفضة. كما أنه يكتسب خاصية التسرب والتغلغل خلال المعادن مثل البلاتنيوم. ومازالت الأبحاث جارية حتى الآن لشرح هذه الظاهرة.

(ك) فيزياء البلازما:

البلازما تمثل تواجد المادة (عادة الغازات) فى حالة تأين تام بعد فقد ذراتها إلكتروناً أو أكثر. ونظراً لتواجد الإلكترونات المحررة فى الحيز الحجمى للغاز تكون البلازما متعادلة كهربائياً. وتعتمد عملية التأين على مقدار الطاقة الخارجية المؤثرة عن طريق قذف المواد بمقذوفات إلكترونية خارجية أو تشعيعها بضوء الليزر المنتخب أو عن طريق تسخين الغاز عند درجات حرارة مرتفعة. وتتأثر الجسيمات

البلازمية الأيونية بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية، وبالتالي يمكن التحكم بها ومعالجتها بطرق فيزيائية.

وتتواجد المادة في حالة بلازمية في أنابيب التفريغ الكهربي في مصادر الضوء التقليدية كمصابيح النيون. كما أنها تتواجد في الطبيعة في الطبقات النجمية الداخلية (مثل الشمس) حيث تتوافر درجات الحرارة المرتفعة التي تجعل الهيدروجين (الوقود النجمي) في حالة تأين تام. هذه العملية تكون ذات الصلة بعملية الإندماج النووي التي تمد النجوم بالطاقة، حيث تندمج نوى الهيدروجين وتحولها إلى نوى عناصر ثقيلة. هذه العملية تحتاج إلى طاقة تكون كافية للتغلب على قوة الطرد الكهربي المتبادل بين النوى الهيدروجينية. ومن أجل إتمام عملية الإندماج النووي المحكم (أو التفاعل النووي الحراري) يجب توليد البلازما داخل وعاء مغناطيسي. وتعتبر هذه الطريقة معضلة تكنولوجية معقدة مرتبطة بتطور مجال الهيدروديناميكا المغناطيسية.

(ف) فيزياء الليزر:

في الفترة بين ١٩٥٠ - ١٩٦٠م وبفضل الجهود المضنية التي بذلها العلماء مثل المخترع الأمريكي «جوردن جولد» والفيزيائيون الأمريكيون «شارلز هاردتاونس» و«ت. هـ. مايمان» و«أرثر شاولو» و«علي جافان» أمكن تطوير تكنولوجيا صناعة الضوء المميز الذي أطلق عليه اسم «الليزر». وكلمة ليزر مشتقة من المصطلح الإنجليزي

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) “LASER”

ويعني باللغة العربية «التضخم الضوئي بواسطة الإنبعاث التحريضي للإشعاع».

وفي أجهزة الليزر تستخدم المواد الفعالة في حالتها المختلفة الغازية أو السائلية أو الصلبة، حيث تتهيج ذرات تلك المواد بعد ضخها بالطاقة اللازمة لتتمدد في مناسيب طاقية مرتفعة. وعند عودة هذه الذرات المتهيجة إلى مناسيب طاقية منخفضة تنبعث عنها أشعة ضوئية يمكن تضخيمها بطرق بصرية. وتتميز أشعة الليزر بأربعة خصائص هي:

(١) ارتفاع الكثافة الضوئية.

(٢) قدرة فائقة على التوجيه الضوئي.

(٣) أحادية الطول الموجي.

(٤) التوافق الضوئي.

ومصادر الليزر نوعان هما:

(أ) مصادر الليزر ذو الشعاع المستمر بقدرة ضوئية تقدر ببضعة مئات من الواط.

(ب) مصادر الليزر ذو النبضات بقدرة ضوئية تقدر بملايين من الواط وفى فترة قصيرة.

وفى الوقت الحالى، لدينا العديد من أجهزة الليزر التى تستخدم كأداة فى البحث العلمى وفى التطور التكنولوجى للعديد من التطبيقات ، وفى شتى المجالات : الطبية والزراعية والصناعية، وفى مجال الاتصالات والعلوم الأساسية والعسكرية، وفى علوم المواد والطاقة وأبحاث الفضاء.

جدول يوضح مجال الدراسات الفيزيائية

(١) **الفيزياء السمعية** : تتعلق بدراسة خواص الصوت.

(٢) **الفيزياء الذرية** : تتعلق بدراسة تركيب وخواص الذرة.

(٣) **فيزياء الحرارة المنخفضة** : تتعلق بدراسة خواص المواد عند درجات حرارة منخفضة.

(٤) **الفيزياء الكهرومغناطيسية** : تتعلق بدراسة المجالات الكهربية والمغناطيسية والشحنات الكهربية التى تولد هذه المجالات.

(٥) **فيزياء المواد الأولية** : يطلق عليه اسم «فيزياء الطاقة العالية» وتشمل أبحاث الجسيمات الكونية الأولية.

(٦) **فيزياء ديناميكا الموائع** : تعتنى بدراسة سلوك وحركة السوائل والغازات.

(٧) **الجيوفيزياء** : تطبيقات الفيزياء لدراسة سلوك الأرض وتشمل علم المواد والمحيطات وفيزياء الكورات كالزلازل والبراكين.

(٨) **الفيزياء الرياضية** : وصف الظواهر الفيزيائية فى الطبيعة بطرق رياضية.

(٩) **فيزياء ميكانيكية** : تتعلق بوصف ومسببات حركة الأجسام المختلفة.

(١٠) **الفيزياء الجزيئية** : تتعلق بدراسة التركيب الدقيق والخواص الجزيئية.

(١١) **الفيزياء النووية** : تتعلق بدراسة تركيب نوى الذرات والتفاعلات النووية وتطبيقاتها.

(١٢) **الفيزياء البصرية** : تتعلق بدراسة إنتشار الضوء.

(١٣) **فيزياء البلازما** : تتعلق بدراسة سلوك الأيونات (الشحنات الكهربية) فى الغازات.

(١٤) **فيزياء الكم** : تتعلق بدراسة النظم الصغيرة وتكمم الطاقة وقيود الحركة.

(١٥) **فيزياء الجوامد** : تسمى فيزياء المواد الكثيفة، وتعتنى بخواص المواد الصلبة.

(١٦) **فيزياء إحصائية** : تتعلق بدراسة النظم التى تحتوى على أجسام مختلفة.

(١٧) **فيزياء الديناميكا الحرارية** : تتعلق بدراسة الحرارة وتحويل الطاقة من شكل إلى آخر.

(١٨) **فيزياء الليزر** : تتعلق بدراسة الأطياف الليزرية للمواد المختلفة فى حالتها البلازمية والغازية والسائلية والصلبة.

(٤) القسم الثالث : الفيزياء والدنيا

على مر العصور لعبت الفيزياء دوراً بارزاً في تطوير الحياة على كوكب الأرض. وأمكن الاستفادة من تغيير الظواهر الطبيعية بطرق فيزيائية عن طريق التدخل الخارجي في العديد من الثورات التكنولوجية التي غيرت نمط الحياة المعاصرة للإنسان. على سبيل المثال، عندما اكتشف الفيزيائيون طاقة البخار تم ابتكار الآلة البخارية التي استخدمت في القطارات، وفي تشغيل المصانع، مما ساهم في توفير الوقت والجهد في ذلك الحين، كما كان لاكتشافات العالم «اسحاق نيوتن» لقوانين الحركة والجاذبية بالغ الأثر على تغيير الفكر العسكرى الاستراتيجي خاصة بعد تصنيع المدافع المختلفة وحسم المعارك. وكذلك أمكن دراسة الظواهر الفلكية وحركة الكواكب بطرق فيزيائية حديثة، وأيضاً كان لفهم حركة الغازات والموائع وتطوير فيزياء الديناميكا الحركة، بالغ الأثر في تصنيع الثلاجات ووسائل التبريد، مما ساهم في حفظ المواد الغذائية.

وعن طريق تطوير الفيزياء السمعية ونظريات إنتشار الموجات الصوتية وتضمينها في الأوساط المختلفة أمكن تطوير وسائل الاتصال مثل التلغرافات والتليفونات.

وشهد القرن العشرون ثلاث ثورات فيزيائية كبرى هي :

أولاً : اكتشاف نظريات ميكانيكا الكم، التي تعنى أساساً بدراسة حركة الأجسام الدقيقة التي لاترى بالعين المجردة. وبذلك أمكن للفيزيائيين دراسة التركيب الدقيق للذرات في المواد المختلفة، وكذلك أمكن تفجير طاقاتها الكامنة عن طريق الإنشطار الذرى للذرات الثقيلة وما يصاحبها من انبعاث طاقة نووية هائلة ذى قدرة تدمير شاملة على المنشآت والكائنات الحية في آن واحد. وأدى ذلك إلى ابتكار الجيل الأول لتكنولوجيا القرن العشرين المتمثلة في صناعة المفاعلات بغرض استخدامها في الأغراض المدنية والعسكرية، حيث يمكن استعمالها في توليد الطاقة الكهربائية وتصنيع النظائر المشعة التي تستخدم في المجالات الطبية والزراعية والبيولوجية.

ثانياً : اكتشاف الخصائص الفيزيائية لمواد أشباه الموصلات وما صاحبها من ابتكار الجيل الثاني لتكنولوجيا القرن العشرين وتصنيع الإلكترونيات الدقيقة والدوائر المتكاملة التي تحتوى على عدد كبير من الترانزستورات والثنائيات الكهربية، علاوة على أعداد من المكثفات والملفات والمقاومات الكهربائية مما ساهم في تطوير الصناعات الإلكترونية المسموعة والمرئية، وفي مجال الاتصالات

والأقمار الصناعية، وأيضاً فى ابتكار أجهزة الكمبيوتر المختلفة مما أدى إلى ثورة الاتصالات والمعلومات التى نشهدها اليوم.

ثالثاً : الربط بين المادة والضوء التى أدت إلى توليد أشعة الضوء المميزة التى سميت «بالليزر» وما تبعها من ابتكار الجيل الثالث للتكنولوجيا البصرية فى القرن العشرين والتى تستخدم فى العديد من التطبيقات الطبية والزراعية والصناعية والعلوم الأساسية والعسكرية، وفى مجال الطاقة والاتصالات.. إلى آخره.

فيما يلى سوف نستعرض الدور البارز للفيزياء فى تطوير الجيل الأول للتكنولوجيا فى القرن العشرين.

٤ـ١) الفيزياء والجيل الأول للتكنولوجيا :

• الطاقة النووية :

بدءاً ذى بدء، الطاقة النووية هى تلك الطاقة التى تحرر أثناء عمليات إنشطار أو إندماج النووى فى الذرات المختلفة. ومن المعروف أن الطاقة لأى نظام فيزيائى أو كيميائى تعطى القدرة على بذل شغل أو انبعاث حرارة أو إطلاق اشعاع. ودائماً تخضع الطاقة الكلية للنظام لقانون البقاء، ويمكن تحويلها من صورة إلى صورة أخرى مثل الطاقة الشمسية أو الحرارية أو الكهربية... إلى آخره.

وحتى القرن الثامن عشر اعتمد الإنسان على الأخشاب كوقود، حيث تختزن الطاقة الشمسية فى النباتات خلال حياتها. ومنذ الثورة الصناعية اتجه الإنسان إلى المحروقات مثل الفحم والبترول وهما أيضاً مشتقات من الطاقة الشمسية. وعندما يحترق الفحم فإن ذرات الهيدروجين تتحد مع ذرات الكربون فى الهواء وينتج عن ذلك تكون الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون مع ابتعاث طاقة حرارية تعادل ١,٦ كيلووات لكل ساعة لكل واحد كيلوجرام من الفحم.

(أ) الفيزياء الذرية : مع تطوير ميكانيكا الكم تمكن الفيزيائيون من دراسة مكونات الذرة وتفجير طاقاتها الكامنة.

ومن المعروف أن الذرة تتكون من نواة صغيرة (قلب الذرة) ذات شحنة موجبة وتتركز فيها كتلة الذرة، ويحوم حولها بعض الإلكترونات (ذوى الشحنة السالبة) فى مدارات خاصة. وتحتوى النواة على عدد من النويات الدقيقة بعضها متعادل كهربائياً ويسمى «بالنيوترونات»، والبعض الآخر مشحون بشحنة موجبة ويسمى «بالبروتونات»، وتسمى النيوترونات والبروتونات فى النواة «بالنيكلونات» التى ترتبط مع بعضها بفعل تأثير القوة النووية الشديدة. هذه القوة أكبر بكثير من القوة الكهربائية التى تربط الإلكترونات بالنواة فى الذرة.

والعدد الكتلى يرمز بالرمز "A" ويمثل عدد النيكلونات فى النواة، أما العدد الذرى "Z" فيمثل عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) فى النواة، ويساوى أيضاً عدد الإلكترونات بالذرة، ولذلك تكون الذرة متعادلة كهربياً. ويرمز للذرات المختلفة بالرمز $^{A}X_{Z}$ للتمييز بينها، حيث يرمز الحرف X لنوع العنصر مثل $^{235}U_{92}$ الذى يمثل عنصر اليورانيوم - ٢٣٥ . والجدير بالذكر أن مقدار شحنة الإلكترون يساوى مقدار شحنة البروتون وهو ١,٦ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم . وتقدر كتلة الإلكترون $\frac{١}{١٨٤٠}$ مرة من مقدار كتلة البروتون (كتلة البروتون تساوى ١,٦٧ × ١٠ $^{-٢٧}$ كيلوجرام).

وتعتبر طاقة الترابط فى النواة مقياس لتماسك النيكلونات معاً بواسطة القوى النووية.

وتمثل طاقة الترابط لكل نيكلون مقدار الطاقة اللازمة لإزالة واحد نيوترون أو واحد بروتون من النواة.

وبالطبع تعتمد طاقة الترابط على مقدار العدد الكتلى. ولذلك تؤدى عملية الاندماج بين نوى الذرات الخفيفة وإنتاج نوى لعناصر ثقيلة (أو عملية إنشطار نوى العناصر الثقيلة وإنتاج نوى أخف منها) إلى انبعاث مقدار محدد من طاقة الترابط.

وعادة تقاس الطاقة النووية بوحدات ملايين من الإلكترون ڤولت (MeV). على سبيل المثال عندما تندمج نواتين من نظائر عنصر الهيدروجين الثقيلة كالدبوتيريوم أو التريتيوم ينتج عن التفاعل نواة عنصر نظير الهليوم - ٣ مع انبعاث طاقة نووية مقدارها ٣,٢ MeV . هذه الطاقة تكافئ ٥,١ × ١٠ $^{-١٣}$ چول (أى ١,٢ × ١٠ $^{-١٣}$ سعر حرارى). أما فى حالة الإنشطار النووى مثل إنشطار نواة عنصر اليورانيوم ٢٣٥ بواسطة امتصاص نيوترون ينتج عن التفاعل نواتين لعنصر السيزيوم -١٤ وعنصر الروبيديوم -٩٣ وانبعاث عدد ثلاثة نيوترونات وكذلك انطلاق طاقة مقدارها 200 MeV.

(ب) **طاقة الإنشطار النووى** : من الناحية العملية يعتبر الإنشطار النووى ذو أهمية كبرى لتوليد الطاقة النووية. نظراً لأن الطاقة المولدة لكل عملية إنشطار تكون كبيرة. على سبيل المثال ينبعث طاقة تقدر بحوالى ١٨,٧ مليون إلكترون ڤولت فى الساعة من الحرارة لكل واحد كيلوجرام من عنصر اليورانيوم -٢٣٥ . كما أن عملية الإنشطار النووى يمكن تحفيزها عن طريق نيوترونات الامتصاص. ويصاحب عملية الانشطار انبعاث نيوترونات جديدة تعمل على تحفيز عمليات

انشطارية جديدة.. وهكذا ينشأ التفاعل المتسلسل الانشطارى الذاتى والنوى ينتج عنه طاقة نووية مستمرة.

والجدير بالذكر أن عنصر اليورانيوم له نظيرين هما اليورانيوم -٢٣٥ النشط والقابل للانشطار، واليورانيوم -٢٣٨ الخامل وهو غير قابل للانشطار. وعنصر اليورانيوم الخام فى الطبيعة يحتوى على مقدار ضئيل لايتعدى ٠,٧١٪ من اليورانيوم -٢٣٥ النشط. واحتمال حدوث انشطار نووى لعنصر اليورانيوم ٢٣٥ يحتاج إلى توفير طاقة للنيوترون المحفز تقدر بـ 1 MeV. عن طريق التحكم فى طاقة النيوترونات بواسطة بعض المهدئات مثل غاز الهيدروجين أو الكربون يمكن إنتاج طاقة نووية انشطارية عالية. هذه الحقيقة، هى الأساس فى عمل المفاعلات النووية الإنشطارية لإنتاج الطاقة النووية.

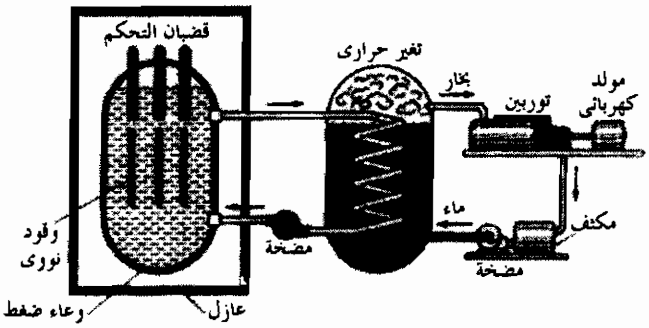
وقد نجح الفيزيائى الإيطالى «انريكو فيرمى» عام ١٩٤٢م فى جامعة شيكاغو الأمريكية من إنتاج أول تفاعل نووى متسلسل. وتم ذلك عن طريق ترتيب عنصر اليورانيوم المتعادل وتوزيعه خلال ألواح من الجرافيت (نوع من الكربون) الذى يعمل كمهدئ لخفض سرعة النيوترونات.

(ج) المفاعلات النووية : عام ١٩٤٤م، تم بناء أول مفاعل نووى كبير فى هانفورد بواشنطن بالولايات المتحدة الأمريكية بغرض إنتاج مواد تستخدم فى تصنيع الأسلحة النووية. وكان الوقود النووى المستخدم هو اليورانيوم والمهدئ هو الجرافيت.

مفاعلات الماء الثقيل والماء الخفيف

هناك العديد من أنواع المفاعلات النووية الإنشطارية التى تختلف فيما بينها باختلاف الوقود النووى والمهدئات ونوع التبريد المستخدم. وقد تم تشييد هذه المفاعلات فى أنحاء العالم بغرض توليد الطاقة الكهربية. وفى الولايات المتحدة الأمريكية مع بعض الاستثناءات تعتمد فى تشغيل المفاعلات على أكسيد اليورانيوم كوقود نووى والذى يحتوى على نسبة ٣٪ من عنصر اليورانيوم -٢٣٥ النشط. والمهدئ والمبرد المستخدم فى هذه المفاعلات عادة يكون الماء عالى التقطير. هذا المفاعل يسمى «مفاعل الماء الخفيف» Light Water Reactor "LWR". وأحد هذه المفاعلات يعرف بمفاعل الماء المضغوط، ويعتمد على الماء الخفيف كمبرد عند ضغط ١٥٠ ضغط جوى. فى هذه الحالة ينضغط الماء خلال قلب المفاعل، حيث يسخن عند درجة حرارة حوالى ٣٢٥°م. والماء فائق التسخين يضخ خلال مولد البخار حيث تستبدل الحرارة مع مسار مائى آخر الذى يتحول بدوره إلى بخار يقوم بتشغيل تربينات كهربية. وعندما يبرد الماء ويكثف يضغط

مرة أخرى في مولد البخار.. وهكذا. في هذه العملية يجب عزل المسار المائى الثانوى من قلب المفاعل حتى لايصبح الماء مشعاً. كما يجب توفير مسار مائى ثالث عن طريق مصادر طبيعية فى البحيرات أو الأنهار تستخدم عن طريق أبراج التبريد فى تكثيف بخار الماء. وعادة تكون أبعاد وعاء الضغط فى المفاعل فى حدود ١٥ متراً (ارتفاع) × ٥ أمتار (قطر) × ٢٥سم (سمك). وتقدر سعة قلب المفاعل بـ ٨٢ طن حجمى من أكسيد اليورانيوم.



مفاعل الماء الخفيف

ويوجد نوع آخر من المفاعلات يسمى «مفاعل الماء المغلى» وهو النوع الثانى من مفاعلات الماء الخفيف، وتعمل هذه المفاعلات عند ضغط منخفض نسبياً.

ويستخدم فيها بخار الماء مباشرة لتشغيل التوربينات، وبعد تكثيف الماء يعاد مرة أخرى إلى قلب المفاعل.

وبالرغم أن البخار فى هذه المفاعلات يكون مشعاً، إلا أنه لايوجد وسيط حرارى بين المفاعل والتوروبين، الذى يخفض كفاءة المفاعل. وكما هو الحال فى مفاعل الماء المضغوط، يحتاج هذا المفاعل إلى توفير خزانات صائبة بالقرب من مصادر مائية طبيعية، كالبحيرات أو الأنهار. وتستخدم أجهزة إنذار مبكر تبين المنسوب الحرارى والتدفق المائى بالمفاعل. ويمكن التحكم بالقدرة الناتجة بواسطة قضبان التحكم التى تعمل على امتصاص النيوترونات فى قلب المفاعل.

والجدير بالذكر أنه فى حالة المفاعلات الكبيرة التى تعمل بقوة ١٠٠٠ جيجاوات تتولد من وحدات الكورىّ. وينبعث هذا الاشعاع أثناء تشغيل المفاعل أو بعد غلقه. ولذلك تستخدم مصدات أسمنتية لامتصاص الأشعة النووية، توضع حول المفاعل. كما يجب أخذ احتياطات الأمان التى تشمل نظم التبريد لقلب

المفاعل لمنع حدوث التسخين الفائق له. وفى هذه الحالة يُستخدم الأسمنت المسلح لمنع انتشار العناصر المشعة التى تهرب عند حدوث أى تسرب ممكن.

وطبقاً لإحصائية أمريكية تبين أن ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية فى الولايات المتحدة الأمريكية تولد بواسطة المفاعلات النووية، بينما فى فرنسا تستخدم المفاعلات النووية فى إنتاج ٧٥٪ من الطاقة الكهربائية بها.

وهناك أنواع عديدة من المفاعلات النووية الصغيرة التى تشيدها بعض الدول من أجل أغراض التعليم والتدريب وإنتاج النظائر المشعة. هذه المفاعلات تعمل بقدرة ١ جيجاوات ويمكن تشغيلها وغلقها بسهولة بالمقارنة بالمفاعلات النووية الكبيرة. كما اهتمت بعض الدول المتقدمة ببناء المفاعلات التى تستخدم فى تشغيل حاملات الطائرات والغواصات.

د) **الوقود النووى والنفايات النووية** : يعتبر توليد الطاقة الكهربية جزءاً واحداً فى دورة الطاقة الكلية. ودورة وقود اليورانيوم المستخدم فى نظم مفاعلات الماء الخفيف المنتشرة فى العالم تشمل عدة مراحل، تبدأ بعملية استخراج عنصر اليورانيوم فى الطبيعة الذى يحتوى على ٠,٧٪ من اليورانيوم -٢٣٥ النشط. ويمكن الحصول عليه من مناجم سطحية أو تحت الأرض. وعملية التنقيب واستخراج وشحن اليورانيوم تواجه صعوبات جمة، إلا أن عنصر اليورانيوم يتواجد على صورة غازية لمركب يورانيوم هيكسافلوريد. وفى عملية تخصيب النظائر يمكن فصل عنصر اليورانيوم -٢٣٥، ويتم ذلك عن طريق تحويل غاز اليورانيوم هيكسا فلوريد إلى مسحوق أكسيد اليورانيوم الذى يوضع في أوعية سيراميكية داخل قضبان الوقود ويتم شحنها إلى محطة المفاعل.

ومن المعروف أن مفاعل الماء المضغوط بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات يحتوى على حوالى ٢٠٠ عنصر كوقود نووى وعادة يحتاج هذا المفاعل إلى إعادة شحنه لحوالى ثلث مقدار الوقود النووى به، نظراً لاستهلاك اليورانيوم -٢٣٥ النشط والذى يتحول إلى منتجات انشطارية نووية بواسطة امتصاص نيوترونات. ومن أهم هذه المنتجات عنصر البلوتونيوم -٢٣٩.

وتسمى المنتجات الانشطارية بالنفايات النووية. وبعد اتمام عملية التبريد بالمفاعل تعبأ النفايات من العناصر المشعة فى براميل خاصة معزولة تكون قابلة للتخزين لمدة طويلة. كما يمكن معالجة هذه النفايات بطرق كيميائية وإعادة استخلاص اليورانيوم الذى لم يستخدم، وكذلك عنصر البلوتونيوم -٢٣٩ الذى

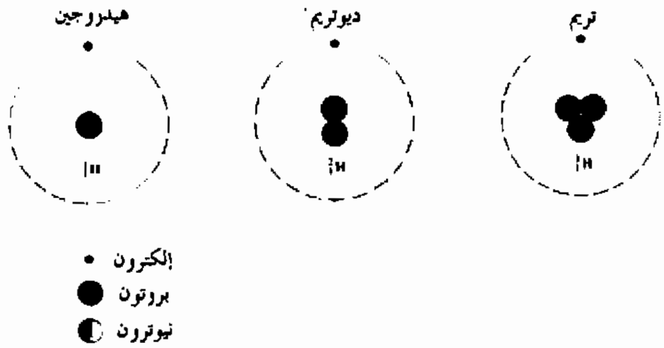
ينتج من التفاعل النووى المتسلسل. وفى حالة استخلاص عنصر اليورانيوم ٢٣٥ يمكن إعادته واستخدامه كوقود نووى بالمفاعل. أما البلوتونيوم ٢٣٩ فيستخدم عادة فى تصنيع الأسلحة النووية.

هـ) **الأمان النووى** : تعتنى البشرية فى أنحاء المعمورة بقضايا الأمان النووى، خاصة لارتفاع منسوب الاشعاع ومخاطرة على الحياة والبيئة خاصة تلك الأشعة المصاحبة للمراحل المختلفة لدورة الوقود النووى أثناء عملية الانشطار النووى بالمفاعل. كما أن إمكانية استخدام النفايات النووية فى صنع القنابل الذرية يثير الرعب لدى كافة الشعوب.

وفى الوقت الحالى، تبذل الجهود المضنية من أجل استخدام الطاقة النووية فى المجالات الصناعية وإزالة كافة المخاطر المصاحبة عادة لمصادر الطاقة التقليدية من المحروقات كالبترول والفحم. ويتوقع الخبراء بإمكانية إنتاج الطاقة الكهربائية عن طريق المفاعلات النووية بأسعار اقتصادية بالمقارنة بما هو متبع الآن. إلا أن هناك مجموعات وجمعيات أهلية وحكومية فى العديد من الدول تعارض انتشار المفاعلات النووية، وكذلك استمرار البحوث والاختبارات عليها. وعلى رأس هذه الجمعيات مجموعة الخضر التى تأسست فى ألمانيا، وتقود حملة مستمرة من أجل إزالة كافة المفاعلات النووية والأسلحة النووية فى العالم. وتدعو للاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة من طاقة شمسية وطاقة الرياح واستخلاص الهيدروجين الحامل للطاقة... وخلافه.

و) **الفيزياء وطاقة الاندماج النووى** : تعتبر طاقة الاندماج النووى الاختيار الوحيد كمصدر للطاقة لاينضب لفترات طويلة، وتكفى جميع الشعوب فى أنحاء العالم. وطاقة الاندماج النووى آمنة وليس لها مخاطر إشعاعية أو نفايات مضرة ملوثة للبيئة، ولاتسبب احترار الأرض. ويتوقع الخبراء أن المستقبل سوف يشهد تطوير وإنتاج هذه الطاقة بأسعار اقتصادية.

ومن المعروف لدينا أن الشمس والنجوم الأخرى تستمد قوتها من عمليات الإندماج النووى التى تحدث بها.



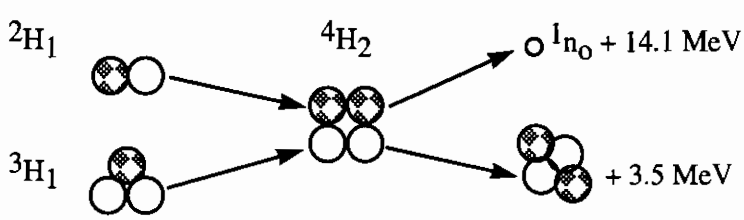
نظائر عنصر الهيدروجين

وفي الوقت الحالي يواجه العلماء مشاكل كبيرة من أجل تطوير تكنولوجيا الطاقة الإندماجية بفرض إنتاج الطاقة الكهربية بأسعار زهيدة. ولكي نوضح اهتمام العلماء من أجل تحقيق حلم البشرية في الحصول على مصادر للطاقة النظيفة، نستعرض فيما يلي الدور البارز للفيزياء في تطوير مفهوم الاندماج النووي :

الاندماج النووي هو عملية توحيد لنوى الذرات الخفيفة وتشكيل نوى لعناصر ثقيلة. ويصاحب هذا التفاعل النووي انبعاث كمية كبيرة من الطاقة، وفي هذه الحالة، يكون مقدار الكتلة الكلية لناتج التفاعل أقل قليلاً من مجموع كتل القوى المتفاعلة. وفرق الكتلة يتحول إلى طاقة طبقاً للعلاقة الرياضية لأينشتين :

الطاقة = (فرق الكتلة) x مربع سرعة الضوء

على سبيل المثال، في حالة اندماج نوى عنصري الديوتيريوم والترتيوم وهما من نظائر عنصر الهيدروجين ينتج عن ذلك تكوين نواة عنر الهليوم - ٤، الذى يتحلل سريعاً وينبعث نيوترون وجسيم ألفا، وكذلك طاقة مقدارها ١٧,٦ مليون إلكترون ڤولت



والجدير بالذكر أن الديوتيريوم $^{2}H_{1}$ متوافر في الماء الطبيعي بنسبة ١ : ٦٠٠٠ بالنسبة للهيدروجين، كما يمكن تحضير الترقيوم $^{3}H_{1}$ من عنصر الليثيوم $^{6}Li_{3}$.

لماذا نطور طاقة الاندماج النووي

طبقاً لاحصائيات هيئة الأمم المتحدة، نجد أن في منتصف القرن القادم (القرن الحادى والعشرين) سيتضاعف عدد سكان الأرض. وهؤلاء يحتاجون إلى ثلاثة أضعاف الطاقة المنتجة الآن، نتيجة للزيادة المتوقعة في المجال الصناعى والنمو الاقتصادى.

ومن المعروف أن مصادر الوقود التقليدى من المحروقات (كالفحم والبترول والغاز الطبيعى) سوف تنضب في فترة زمنية تقدر من ٥٠ ـ ١٠٠ عام. والاعتماد على هذه المصادر مستقبلاً سوف يزيد من تلوث البيئة واحترار الأرض بما ينذر بمخاطر جسيمة. كما أن توافر الماء كمصدر لعنصر الديوتيريوم في المحيطات على الأرض يكفى لتشغيل المفاعلات النووية الاندماجية لملايين السنين. في هذه الحالة تكون النفايات الناتجة من التفاعل هى غاز الهليوم الاعتيادى. ولذلك فإن تكنولوجيا الطاقة الشمسية والمتجددة سوف تلعب دوراً رئيسياً في المستقبل.

وحالياً يهتم العلماء بمواجهة القضايا التكنولوجية لتنمية إنتاج الطاقة النووية الاندماجية خاصة بعد المشاعر السلبية وعدم الوعى لدى المواطنين التى تقاوم انتشار المفاعلات النووية الإنشطارية، لما تسببه من ارتفاع منسوب الاشعة الضارة والنفايات النووية المستخدمة في صناعة الأسلحة النووية.

وفى الجدول التالى مقارنة لإنتاج ١٠٠٠ MW طن من الطاقة باستخدام الفحم والاندماج النووى.

	الإندماج النووى	الفحم
الوقود :	ديوتيريوم $\frac{1}{2}$ Kg ليثيوم $1\frac{1}{2}$ Kg $\equiv$ (تريتيوم $\frac{1}{2}$ Kg)	٩٠٠٠ طن فحم
النفايات :	هليوم – 2 Kg	٣٠,٠٠٠ طن ثانى أكسيد الكربون ٦٠٠ طن ثانى أكسيد الكبريت ٨٠ طن ثانى أكسيد النيتروجين ١٠ كيلو جرام يورانيوم ٢٠ كيلو جرام ثوريوم

وتحتاج التفاعلات الإندماجية إلى أجسام متأينة ساخنة بدرجة كافية وذو كثافة مناسبة موضوعة فى مكان محكم ومحدد، وتواجد المادة فى حالة متأينة يعرف باسم «حالة البلازما»، حيث تنفصل بعض الإلكترونات عن الذرات وتتركها فى حالة تأيين. ولذلك تتكون البلازما من أجسام مشحونة من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة. ويمكن التحكم فى البلازما الساخنة بواسطة ثلاث آليات مختلفة هى:

(١) التحكم المغناطيسى وهذا يتطلب توفير مجال مغناطيسى أكبر من ١٠٠,٠٠٠ مرة ضعف المجال المغناطيسى الأرضى.

(٢) التحكم بطريقة التخميد وذلك يحتاج لتوفير أشعة ليزرية (أو جسيمات متأينة) ذات طاقة عالية.

(٣) قوة الجاذبية الشديدة وهو مايحدث فى التحكم فى تفاعل الوقود النووى على الشمس وباقى النجوم.

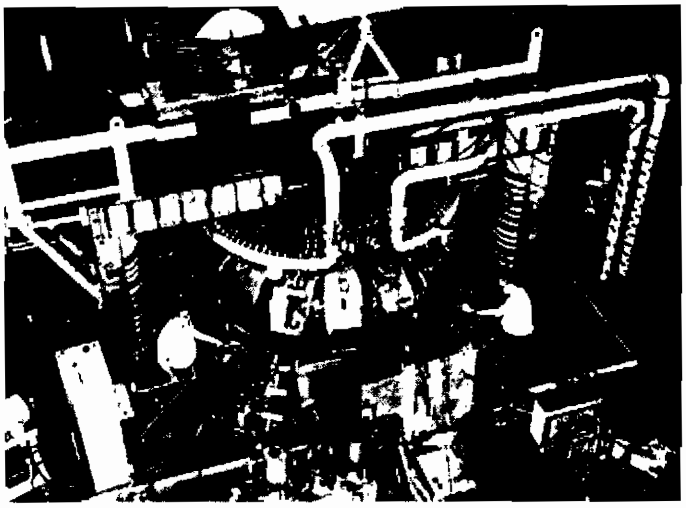
مفاعل توكاماك: من أنجح المفاعلات الاندماجية النووية حتى الآن مفاعل توكاماك. وكلمة توكاماك مشتقة من المصطلح باللغة الروسية.

Toroid - Kamera - magnit - Katushka (Tokamak)

أى Toroidal chamber and magnetic coil

وتعنى باللغة العربية الغرفة الدائرية والملفات المغناطيسية.

ويحتاج هذا المفاعل إلى تيار كهربائى شديد فى حدود مليون أمبير يمر خلال البلازما. وتسخن البلازما إلى درجة حرارة أكثر من مائة مليون درجة مئوية (أعلى من درجة الحرارة فى قلب الشمس) بواسطة حزم من جسيمات (أو أشعة الليزر) ذوات طاقة عالية. والتحدى الذى يواجهه الفيزيائيون الآن هو كيف نصل إلى توليد طاقة إندماجية مستقرة وبمعامل كسب مرتفع. من أجل ذلك يجب تطوير فهمنا للمبادئ الفيزيائية المؤثرة على الفنون التأهيلية للتكنولوجيا الدقيقة فى مفاعل البلازما. من هذه المبادئ طرق معالجة انتقال الأجسام البلازمية الساخنة والمساهمات المغناطيسية ـ الهيدروديناميكية، وكذلك تأثير تراكم جسيمات ألفا المتوالدة ذوات الطاقة العالية على حافة عدم الاستقرار. ولابد من تحسين أداء المفاعل الإندماجى وتقليل حجمه لتقليل التكاليف الباهظة للتشييد.



مفاعل توكاماك المستخدم فى دراسة البلازما فى جامعة برنستون الأمريكية

وهناك مشاكل تكنولوجيا تتعلق بأنواع المواد المستخدمة فى صناعة جدران المفاعل والتى تنشط عند تفاعلها مع النيوترونات المنبعثة أثناء عمليات الاندماج، مما يؤدى إلى تسريب الطاقة. بالإضافة إلى مشاكل التوصيل الحرارى وضرورة توفير مغناطيسيات عملاقة تولد المجالات المغناطيسية الشديدة من أجل الحصول على بلازما محكمة ومستقرة.

ومازالت الأبحاث جارية من أجل تحقيق حلم البشرية فى إنتاج الطاقة النظيفة.

٤ـ٢) الفيزياء والجيل الثانى للتكنولوجيا :

الإلكترونيات الدقيقة:

لعبت الفيزياء دوراً هاماً فى تطوير الجيل الثانى للتكنولوجيا الذى اعتمد على التطبيقات الإلكترونية وفى شتى المجالات. وعلم الإلكترونيات هو مجال الفيزياء التطبيقية والهندسية ويعتنى بتصميم الدوائر الإلكترونية لجميع الأجهزة والمعدات. وعن طريق التحكم فى مسار الإلكترونات بهذه الدوائر يمكن إرسال واستقبال وتخزين المعلومات. وتتألف هذه الإشارات من موجات راديوية أو تليفزيونية، ويمكن تحويلها إلى إشارات رقمية يمكن التعامل معها بواسطة أجهزة الكمبيوتر.

وللدوائر الإلكترونية دوال مختلفة يمكنها إجراء العمليات المطلوبة بكفاءة عالية.

والجدير بالذكر أن بداية القرن العشرين شهد نقطة الإنطلاق للنمو المتسارع في مجال الإلكترونيات الحديثة، خاصة بعد اكتشاف أنابيب التفريغ (الصمامات) الزجاجية. هذه الأنابيب جعلت التحكم في المسار الإلكتروني ممكناً، بعد أن عاني منها أجهزة التلغراف ودوائر التليفون التقليدية، كما أمكن استخدام الصمامات الزجاجية في تكبير موجات الراديو الضعيفة، والإشارات الصوتية، كما استخدمت في دوائر التضمين الإلكتروني في محطات الإرسال الإذاعي.

وقد استخدمت تكنولوجيا الأنابيب المفرغة في مجالات عسكرية عديدة أثناء الحرب العالمية الثانية. وقد لعبت دوراً هاماً في تطوير المعدات الابتدائية لأجهزة الكمبيوتر.

وفي عام ١٩٤٨ حل الترانزستور بدلاً من أنابيب التفريغ في معظم الدوائر الإلكترونية. وكان لاكتشاف الخصائص المميزة لمواد أشباه الموصلات (في حالاتها الصلبة) وترتيبها بشكل يسمح بالتوصيلات الكهربائية، الفضل الكبير في تطوير علم الإلكترونيات الدقيقة. ومن المعروف أن الترانزستورات تتشابه مع الخواص الإلكترونية لأنابيب التفريغ، ولكنها تتميز بحجمها الصغير وقلة التكاليف وتوفير الطاقة المستهلكة وكفاءة في الأمان والدقة.

ومع تطور صناعة مواد أشباه الموصلات أمكن صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة التي تحتوي على أكثر من ألف ترانزستور وقطع صغيرة من المواد تسمح بتصميم كافة الأجهزة الإلكترونية المعقدة المستخدمة في شتى الأغراض في المجالات الطبية والزراعية والصناعية ، وفي علوم الفضاء والطاقة، وفي مجال العلوم العسكرية والأقمار الصناعية والكمبيوتر.. إلى آخره..

وفيما يلي سوف نستعرض أهم العناصر الإلكترونية :

أ) أنابيب التفريغ:

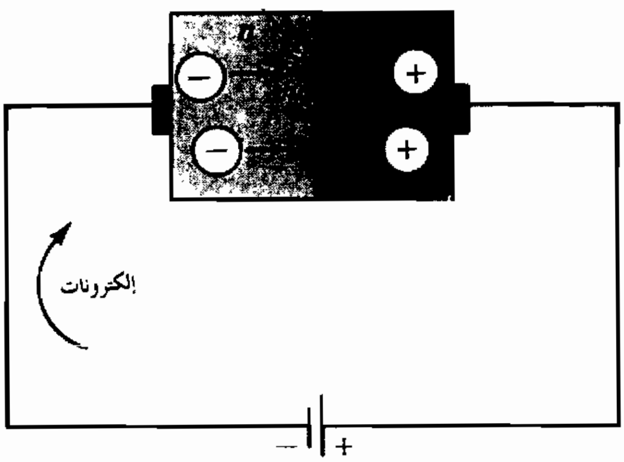
تتكون أنابيب التفريغ من وعاء زجاجي مفرغ من الهواء يحتوي على إلكترودات معدنية. وأبسط أنواع الأنابيب المفرغة ما يسمى بالصمام الثنائي «الدايود»، ويتكون من كاثود وأنود متصل بالطرف الموجب لوحدة التغذية الكهربائية، والكاثود يتكون من أنبوبة معدنية تسخن بواسطة فتيلة موضوعة أمامها. وتنتقل الإلكترونات الحرة من الكاثود في اتجاه الأنود المكون من اسطوانة معدنية حول الكاثود. ويلاحظ عند تطبيق فولتية مترددة على الانود، فإن الإلكترونات الحرة تنتقل فقط إلى الأنود خلال نصف الدورة الموجبة للتيار المتردد،

أما أثناء النصف الدورى السالب للفولتية المتردد، فإن الأنود (ذو الجهد السالب) يتنافر مع الإلكترونات (السالبة) ويطردها بعيداً، وبالتالى لايمر التيار الكهربى خلال الانبوبة. أى أن الصمام الثنائى يسمح بمرور التيار خلال نصف دورة فقط من التيار المتردد، ولذلك يسمى الصمام الثنائى أنابيب تقويم التيار والتى تستخدم فى عمليات تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر.

ويمكن التحكم فى مسار الإلكترونات الحرة عن طريق وضع شبكة من سلك معدنى حلزونى بين الكاثود والأنود داخل أنابيب التفريغ، فعند تطبيق فولتية سالبة صغيرة على الشبكة فإنها تطرد بعض من الإلكترونات الحرة بعيداً، ويصل عدد قليل منها إلى الأنود. هذه الأنابيب المفرغة تسمى «الصمامات الثلاثية». وعادة تستخدم كمكبر للإشارات الفولتية، حيث إن أى تغير (مهما كان صغيراً) فى الفولتية عند الشبكة تؤدى إلى تغير كبير فى الفيض الإلكترونى المتجه نحو الأنود.

ب) الترانزستورات:

تصنع الترانزستورات من مواد أشباه الموصلات مثل السيليكون أو الجرمانيوم (المطعمان بكمية صغيرة من الإضافات الخاصة لبعض المواد). والترانزستور يتحكم فى مسار الإلكترونات الحرة، وتتواجد مواد أشباه الموصلات ذو الوفرة فى الإلكترونات الحرة وتسمى أشباه موصلات من نوع n- ومواد أشباه موصلات أخرى شحيحة فى إلكتروناتها الحرة وتسمى أشباه موصلات من نوع P-. وبتوصيل مواد من نوع n- مع مواد من نوع p- نحصل على ثنائى (دايود) إلكترونى. فعندما يتصل الثنائى بطرفى بطارية، ويكون الطرف السالب متصل بالنوع n- والطرف الموجب متصل بالنوع p- فإن الإلكترونات المتنافرة مع الإلكترونات المتوفرة فى النوع n- تدخل المنطقة p- غير المعاوقة والتى تفتقد إلى إلكترونات، وبالتالى يسمح بمرور التيار الكهربائى.

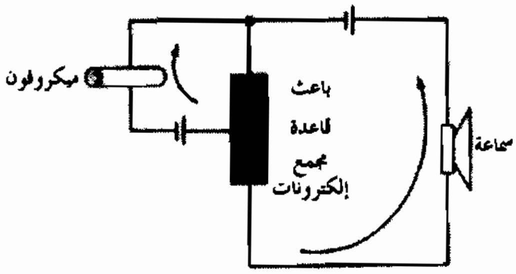


توصيل الثنائى n-p بطرفى البطارية يوضح اتجاه مرور التيار الكهربائى.

أما فى حالة عكس أقطاب البطارية، يلاحظ عدم مرور التيار نتيجة للتنافر بين الإلكترونات فى المنطقة n المملوءة بالإلكترونات الحرة. وبالتالى يصبح التيار صفراً.

وفى عام ١٩٤٧م، تم اختراع الترانزستور ثنائى الأقطاب الذى حل بدلاً من الصمام الثلاثى (فى أنابيب التفريغ).

ومن المعروف أن الترانزستور يتكون من ثلاث طبقات من مواد أشباه الموصلات على شكل P - n - P أو n - P - n . ويتصل الموصل الأول بحيث يسمح بمرور التيار (تغذية أمامية) ويتصل الموصل الآخر فى عكس الاتجاه (تغذية عكسية). فإذا تغيرت شدة التيار فى موصل التغذية الأمامية عن طريق إضافة إشارة خارجية يلاحظ تغيير فى شدة التيار فى موصل التغذية العكسية فى الترانزستور. هذا المبدأ يستخدم فى تكبير الاشارات الإلكترونية، حيث توصل الاشارات الصغيرة على موصل التغذية الأمامية ، وبالتالى تحصل على تكبير للتيار فى موصل التغذية العكسية.



استعمال الترانزستور n-p-n فى الدوائر الإلكترونية

والجدير بالذكر أن هناك نوع آخر من الترانزستورات تسمى ترانزستورات التأثير المجالى Field Effect Transisnors (FET).

هذه الترانزستورات تعمل على التحكم فى المسار الإلكترونى بها بواسطة المجال الكهربائى الخارجى. وتتم عملية التكبير بنفس الطريقة التى وردت سابقاً فى أنابيب التفريغ، ولكن بكفاءة عالية وبطريقة اقتصادية.

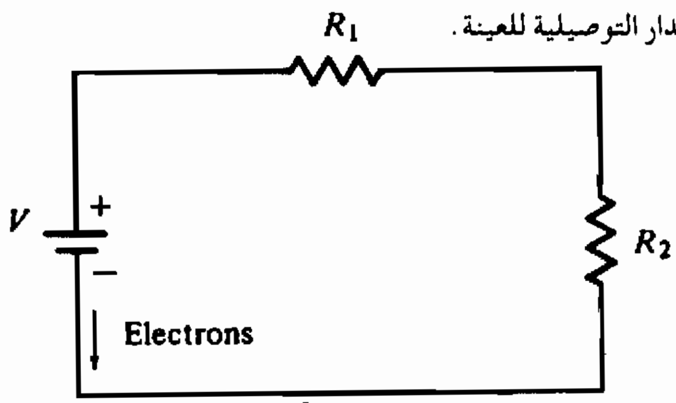
ج) الدوائر المتكاملة:

تتكون معظم الدوائر الإلكترونية المتكاملة من رقائق صغيرة من السيليكون ذو أبعاد $2mm^2$ - $4mm^2$. وعن طريق الحفر الفوتونى يمكن تخليق آلاف

الترانزستورات على رقيقة واحدة مكونة من مناطق عديدة من نوع -P ونوع -n وتوصيل هذه المناطق داخليا بواسطة مسارات صغيرة موصلة. هذه الدوائر المتكاملة تقلل الحجم وتوفر الطاقة وبأسعار زهيدة وتعمل بكفاءة ودقة عالية بالمقارنة بالدوائر التى يركب بها الترانزستورات المستقلة.

د) المقاوم:

عند توصيل البطارية عبر مواد موصلة فإن كمية محددة من التيار تمر خلال هذه المواد. وقيمة هذا التيار تعتمد على الفولتية (فرق الجهد) بين طرفى البطارية وعلى أبعاد ومقدار التوصيلية للعينة.



دائرة كهربية بسيطة تحتوى على مقاومتين وبطارية.

وتستخدم المقاومات للتحكم فى شدة التيار فى الدوائر الإلكترونية. وتصنع المقاومات من مخاليط من الكربون وأغشية معدنية وأسلاك مقاومة. كما تستخدم المقاومات المتغيرة فى مفاتيح التحكم لرفع أو خفض الأصوات فى أجهزة الراديو أو التليفزيون.

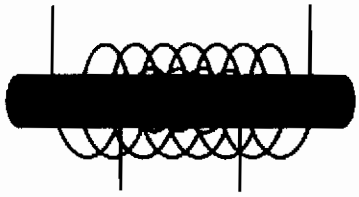
هـ) المكثفات:

يتكون المكثف من لوحين متوازيين موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وعند توصيل طرفى البطارية بهذين اللوحين، فإن الشحنات تنتقل لفترة وجيزة وتتراكم على اللوحين. وعندما تفصل البطارية يظل المكثف محتفظ بالشحنات وبالفولتية بين طرفيه. وتستخدم المكثفات كمخزن للطاقة الكهربائية.

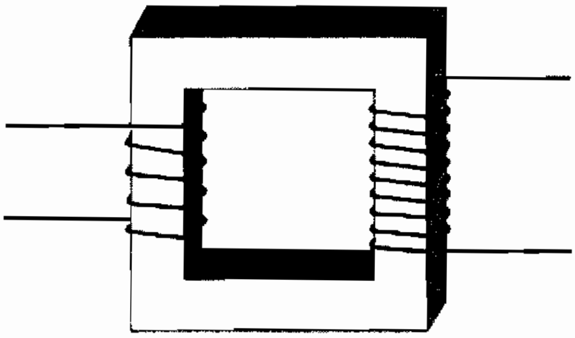
و) الملفات:

تتكون الملفات من سلك موصل ملفوف على شكل حلزونى. وعند إمرار تيار كهربائى خلال الملف يتولد مجال مغناطيسى حوله. هذا المجال يعمل على تغيير شدة التيار الكهربائى عن طريق ما يسمى «بالحث المغناطيسى». والملف مثل المكثف كلاهما يستخدم بالاستدلال والتمييز السريع للتغيير بين الاشارات

السـريعـة أو الإشـارات البطيـئـة. وعنـدمـا يتـصـل الملف مع المكثف بالدائرة الكهـربائية، فإن شـدة التيـار تصل إلى قيمـة عظمى عند تردد محدد يسمى «تردد الرنين». هذا المبدأ يستخدم في مستقبلات موجات الراديو والتليفزيون، حيث يمكن انتخاب التردد بواسطة مكثف متغير.



(أ)



(ب)

(أ) ملف من سلك موصل ملفوف على شكل حلزونى
(ب) محول كهربائى بسيط يتكون من ملفين من السلك

ز) الناقلات وأجهزة الاستشعار:

يتم قياس الكميات الفيزيائية الميكانيكية والحرارية والكهربية والتركيزات الكيميائية بواسطة أجهزة الاستشعار (الناقلات أو الترانسوديوسرات). والمستشعر يكون حساساً لأى تغير يحدث فى الكميات المراد قياسها. ويعتمد ذلك على سبيل المثال على الموقع ودرجة الحرارة والتركيزات الكيميائية. أما الترانسوديوسر فيحول تلك القياسات إلى اشارات كهربائية يمكن تكبيرها لتغذية أجهزة القراءة والتسجيل أو التحكم للاستدلال عن الكميات المقاسة. وعادة تستخدم أجهزة الاستشعار فى المواقع التى لايمكن أن يصل إليها الإنسان ويمكن التحكم بها عن بعد.

على سبيل المثال، جهاز المزدوج الحرارى يتكون من سلكين موصلين مصنوعين من مواد مختلفة. هذان السلكان يولدان فولتية كهربية صغيرة بينهما عندما

تتغير الحرارة بين السلكين. وأيضاً جهاز الثرميثتور وهو مقاوم للتغيير في درجة الحرارة. والمقاوم المتغير يحول التحركات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية. والمكثفات الخاصة تستخدم لقياس المسافات، كما تستخدم الخلايا الفوتوفولتية لرصد الضوء. وهناك مستشعرات لقياس سرعة الأجسام والعجلة وتدفق الموائع. وفي جميع الأحوال تكون الإشارات الكهربائية الناتجة ضعيفة وتحتاج إلى مكبرات الكترونية.

ن) دوائر التغذية الكهربائية:

معظم الأجهزة والمعدات الإلكترونية تحتاج إلى فولتية (فرق جهد) لتشغيلها. ويمكن توفير هذه الطاقة عن طريق البطاريات الجافة باهظة التكاليف أو بواسطة دوائر التغذية الكهربائية التي تعمل لتحويل التيار المتردد الموجود في المخارج الكهربية بالمنازل إلى تيار مستمر يغذى الأجهزة والمعدات الإلكترونية بالطاقة اللازمة لتشغيلها.

وتتكون دوائر التغذية الكهربية من محول كهربائي يستخدم في رفع أو خفض المنسوب الفولتي إلى المستوى المناسب ويحاط المحول بعوازل كهربائية للحماية من مخاطر الجهد العالي وتسرب الكهرباء.

ويفضل المحول بدوائر تقويم التيار المتردد وعادة تتكون من ثنائيات كهربائية (دايودات) مصنوعة من مواد أشباه الموصلات. ثم تستخدم مرشحات من المكثفات والملفات لمنع التذبذب والعمل على استقرار التيار المستمر الناتج. وكلما زادت سعة المكثفات كلما صغرت كمية التذبذب في الفولتية، ويستخدم منظم للجهد للتحكم في منسوب الفولتية، ويتكون هذا المنظم من «زينر - دايود». وفي الوقت الحالي تستخدم الدوائر المتكاملة في هذا الغرض.

ل) دوائر التكبير:

تستخدم المكبرات الإلكترونية لزيادة الفولتية أو شدة التيار أو القدرة الكهربائية للإشارات الكهربائية. وهناك نوعان من المكبرات هما :

(١) **المكبرات الخطية** : وتكون الإشارة الخارجة متناسبة مع الإشارة الداخلة وبأقل قدر من التشويه.

(٢) **المكبر غير الخطي** : تعمل على تغيير الشكل الموجي للإشارات الداخلة.

وهناك مكبرات سمعية تتواجد في أجهزة الراديو والتليفزيون والمسجلات، وتعمل عادة عند ترددات أقل من ٢٠ كيلوهرتز (١ كيلو هرتز = ١٠٠٠ دورة/ثانية). هذا المكبر يرفع من شدة الإشارات الكهربائية وتحويلها إلى أصوات

فى السماعات. وعادة تصنع مكبرات التشغيل من دوائر متكاملة مكونة من مراحل متعددة من المكبرات الخطية، أما مكبرات الفيديو فتعمل فى مدى ترددى يبدأ من ٦ جيجا هرتز (١جيجا هرتز = مليون دورة / ثانية)، والإشارات المكبرة تحمل المعلومات المرئية التى يمكن تطبيقها على شاشات التليفزيون. كما يمكن لهذه المكبرات التحكم بشدة الإستضاءة عن طريق تنظيم السعة القولتية. ومكبر الفيديو يعمل بمعامل تشوه منخفض، كما يوجد مكبر التردد الراديوى، الذى يستخدم فى نظم الاتصالات وأجهزة الرادار وتعمل فى مدى ترددى بين ١٠٠ كيلوهرتز إلى ١ جيجا هرتز. ويمكن أن تعمل فى مدى الموجات الدقيقة.

ك) المذبذبات:

يتكون المذبذب من مكبر كهربائى ودائرة التغذية المرتجعة. وتتكون الدائرة من ملفات ومكثفات متغيرة السعة.

وتستخدم المذبذبات فى دوائر التليفونات الحديثة ذوات مفاتيح الضغط التى تخدم فى السنترالات الإلكترونية، وفى ساعات التنبيه وأجهزة الراديو وفى أجهزة الكمبيوتر ونظم الإنذار.

ب) دوائر التحويل والتحكم:

هى دوائر منطقية تستخدم فى أجهزة الأقمار الصناعية والكمبيوتر والأجهزة التليفونية.

والجدير بالذكر أن تطور الدوائر المتكاملة قد أدى إلى ثورة فى مجال الاتصالات والمعلومات، بالإضافة إلى المميزات الفريدة لهذه الدوائر من حيث خفض التكاليف وتقليل حجم الأجهزة ورفعت من كفاءة الأجهزة وعمرها الافتراضى. فنرى الآن اعتماد المحولات الرقمية والعمليات الحسابية والألعاب الإلكترونية على وحدة «الميكروبروسسور» وهى إحدى الدوائر المتكاملة. وبذلك شهدت الأجهزة الإلكترونية تطورات هائلة شملت إمكانية ترقيم الإشارات السمعية وتشفيرها بالمعلومات عن طريق التضمين الموجى، وأمكن تسجيل واستعادة الإشارات الإلكترونية بطرق رقمية مما أدى إلى تطوير أجهزة الفيديو والتليفزيون الرقميين. أما فى مجال الإلكترونيات الطبية أمكن تطوير أجهزة التشخيص والعلاج، على سبيل المثال تطورت أجهزة التصوير باستخدام الأشعة السينية والتحكم بها بواسطة الكمبيوتر. كما أمكن التمييز بين العمليات البيولوجية والهندسة الوراثية وأيضاً فى مجال المناظير الطبية.

ومن المتوقع خلال العقد الأول من القرن الحادى والعشرين ظهور دوائر التوصيل الفائق بدلاً من دوائر أشباه الموصلات التى ترفع من كفاءة المعدات

الإلكترونية وزيادة سرعتها ويمكن تشغيلها عن درجات حرارة منخفضة قد تصل إلى درجة الصفر المطلق.

٤-٣) الفيزياء والجيل الثالث للتكنولوجيا :

البصريات والليزر:

منذ القدم، تطلع الإنسان إلى الشمس وضوئها الذى كان مألوفاً لديه وأمكنه تمييز ظاهرة الإبصار. وعبر العصور شكل الضوء مادة جدالية عند الفلاسفة. وكما ذكرنا سلفاً فقد افترضا «أقليدوس» و«بطليموس» الاغريقيين فى محاولة منهما لتفسير ظاهراة الإبصار أن العين تطلق شعاعاً بصرياً يتلمس الأجسام فتحدث الرؤية. وظل هذا الاعتقاد الخاطئ سائداً حتى عام ١٠٠٠م، عندما وضع العالم العربى الحسن بن الهيثم نظرية حقيقية ضمنها فى كتابه «المناظر»، وذكر أن الإبصار يتم بواسطة أشعة ضوئية تسقط على الأجسام التى تعكسها بدورها إلى العين وتسبب الرؤية. وقد دحضت هذه النظرية سابقتها، وشكلت بذلك إحدى المراحل الهامة لتفسير طبيعة الضوء وظواهره.

وفى القرن السابع عشر وضع العالم الإنجليزى «اسحاق نيوتن» نظرية الضوء الجسيمية، كما وضع العالم الهولندى «كريستيان هيجنز» نظرية الضوء الموجية. وكما ذكرنا سلفاً، ظهرت تباعاً أعمال عظيمة لعلماء آخرين مثل «يوهانسن كيبلر» و«بليردستيل» وكذلك «رينيه ديسكارتز»، وذلك لدراسة علم البصريات الهندسية بطرق فيزيائية. وفى عام ١٩٠٥م، نجح العالم «ألبرت أينشتين» من وضع نظرية الضوء الكهرومغناطيسية طبقاً لفروض العالم الاسكتلندى «كلارك ماكسويل». وطبقاً لهذه النظرية، عرف الإنسان الطبيعة الإزدواجية للضوء (أى أنه جسيم يمثل بموجة). وهذه الجسيمات التى تؤلف الضوء هى جسيمات نقطية من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية تسمى «الفوتونات».

ومن أجل فهم الدور البارز للفيزياء فى تطوير التكنولوجيا البصرية، نستعرض فيما يلى أهم الظواهر الفيزيائية للضوء.

أ) الانعكاس الضوئى:

لوحظ أن الضوء عندما يصادف وسطاً شفافاً جديداً أثناء انتقاله، فإن جزءاً منه ينعكس وجزء آخر يستمر فى الانتقال خلال ذلك الوسط الجديد. الجزء الضوئى الذى لم ينعكس عند السطح الفاصل، إما أنه تعرض للامتصاص أو أنه انتقل داخل الوسط الثانى.

والجزء المنعكس يخضع إلى قوانين الفيزياء التى نصت على ما يلى :

(١) زاوية السقوط للشعاع الضوئى تساوى زاوية الانعكاس نسبة إلى الخط العمودى المرسوم على السطح العاكس.

(٢) إذا كان السطح العاكس منتظماً، فإن الضوء المنعكس يكون منتظماً فى انعكاسه.

(٣) إذا كان السطح العاكس غير منتظم، فإن إنعكاس الضوء يكون غير منتظم، ويسمى «بالإنعكاس المشتت».

(٤) يكون الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس جميعهم فى مستوى واحد.

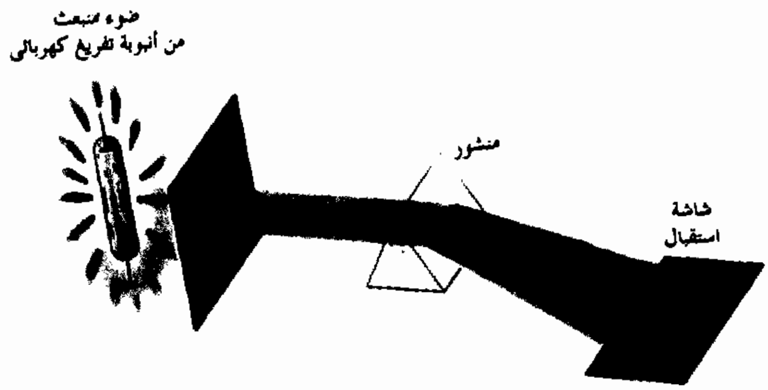
ب) الإنكسار الضوئى:

عندما يصادف الضوء وسطاً يختلف عن الوسط الذى فيه، بحيث يمكنه الانتقال واستمرار الانتشار به، يكون استمراره منحرفاً بميل يعتمد على طبيعة ذلك الوسط، وتسمى الأشعة الضوئية التى دخلت الوسط الجديد بـ«الأشعة المنكسرة». ومقدار انحراف الأشعة المنكسرة يعتمد على ما يسمى بـ«معامل انكسار الوسط» الذى يعرف بالنسبة بين سرعة انتشار الضوء فى الفراغ إلى سرعة انتشاره فى الوسط.

ج) الطيف والتحلل الضوئى:

من الظواهر الطبيعية التى نشاهدها فى فصل الشتاء هى ظاهرة تحلل ضوء الشمس عن طريق قطرات الماء العالقة فى الجو والمعروفة بـ«قوس قزح». وفى عام ١٦٦٦م تمكن العالم «اسحاق نيوتن» من تفسير هذه الظاهرة بتجربة بسيطة برهن بها أن ضوء الشمس الطبيعى هو خليط من الألوان. واستعان نيوتن بـ«منشور زجاجى» وعند إمرار الضوء خلاله عن طريق ثقب موضوع أمام أحد جوانب المنشور حصل على طيف مستمر، وتبين أن الألوان الضوئية متصلة مع بعضها ومواقعها ثابتة بالنسبة إلى ترتيبها.

ومنذ ذلك الوقت، استمر البحث لفهم بصريات التحلل الطيفى وسمى جهاز تحليل ألوان الضوء، بالمطياف، بعد ذلك حل «المحزوز» بدلاً من المنشور. ويستفيد الباحثون من ظاهرة التحلل الطيفى فى دراسة التركيب الدقيق للمواد والعناصر المعروفة فى الطبيعة.



مطياف ضوئى.

د) نظرية «يونج» للتداخل الضوئى:

بعد التناقض الذى ظهر بين النظرية الجسيمية والنظرية الموجية للضوء، أجرى العالم «يونج» خلال القرن التاسع عشر تجربته الشهيرة لشرح ظاهرة التداخل الضوئى، وذلك باستخدام ثقبين متقاربين فى لوحة وضعت فى طريق مسار الشعاع الضوئى. وعلى الجانب الآخر لهذه الشريحة وضع شاشة الاستقبال لخارج الأشعة من الثقبين.

وبدلاً من مشاهدة صورة وحيدة حادة لضوء الثقبين كل على حدة كما كان متوقعاً، شاهد سلسلة من الخطوط المتوازية. أثارت هذه الظاهرة الاهتمام، وفسر ذلك ظاهرة التداخل الضوئى الموجى معتمداً على طبيعة الضوء الموجية (وليست الجسيمية). وكانت هذه التجربة مقنعة خاصة بعد تفسير التداخل البناء والتداخل الهدام. وقد دعم العالم الفرنسى «فرنيل» تجربة «يونج» للتداخل الضوئى حين وضع نظرية رياضية تفصيلية، لحساب طول موجة الضوء المرئى وكذلك الأطوال الموجية لألوانه.

هـ) الحيود الضوئى:

بعد تجربة «يونج» للتداخل الضوئى، أدخل العالم «جوزيف فراونهوفر» تعديلاً على هذه التجربة واستبدل الثقبين «بالمحزوز». ومن المعروف أن المحزوز عبارة عن وسط شفاف (عادة زجاج) عليه خطوط غير شفافة متوازية ومتقاربة مع بعضها (كأسنان المشط) وما بينها من فواصل تعتبر شروخ تسمح بمرور الضوء. فى هذه الحالة نحصل على تداخل لموجات أكثر، مما حصلنا عليه فى تجربة يونج ذات

الشرخين (أو الثقبين) . ولهذا التطوير استخدم المحزوز فى أجهزة التحليل الطيفى للضوء .

و) طبيعة الموجة:

هناك عدة نماذج من الموجات تصنف طبقاً لتحرك جزيئات الوسط الحاوى للموجة بالنسبة إلى اتجاه انتشار الموجة . وهذه النماذج هى :

(١) الموجات الطولية : فى هذه الحالة ، تتحرك جزيئات الوسط الحاوى للموجة فى اتجاه انتشار الموجة ذاتها . مثل الموجات الصوتية ، حيث تهتز جزيئات الهواء (بفعل اهتزاز الأوتار الصوتية) فى الاتجاه ذاته الذى تتبعه الموجة الصوتية . فاهتزاز كل جزئية من الهواء بفعل المصدر الأساسى للصوت يتفاعل مع الجزيئة الأقرب فتهتز بدورها . . . وهكذا ! حتى يصل الاهتزاز المذكور إلى السامع دون أن تنتقل جزيئات الهواء من مكانها .

(٢) الموجة العرضية : فى هذه الحالة ، تهتز جزيئات الوسط باتجاه عمودى نسبة لاتجاه انتشار الموجة ، مثل موجات البحر التى تأتى من بعيد فى اتجاه الشاطئ ، فهى تنتقل باتجاه أفقى ، بينما جزيئات الماء تهتز عمودياً (صعوداً وهبوطاً) . وكذلك هو الحال فى موجات الراديو أو الموجات الكهرومغناطيسية عامة .

(٣) موجات اللىّ : فى هذه الحالة ، تنتقل الموجة بشكل لولبى ، بينما يكون سطح الدائرة عمودياً بالنسبة إلى اتجاه تنقل الموجة . تحدث هذه الموجة عند لوى قضيب معدنى حول نفسه ، فتنتشر فيه موجة اللىّ .

والجدير بالذكر أن الموجات الضوئية هى موجات مستعرضة وكذلك جميع الموجات الكهرومغناطيسية .

ز) المواصفات الأساسية للموجة :

للموجة مواصفات تحددها فى الزمان والمكان وتميزها عن الموجات الأخرى . وهذه المواصفات هى :

(١) سعة الموجة (A) : وتعرف بأنها المسافة القصوى التى تصلها الموجة فى اهتزازها باتجاه ما . فارتفاع موجة فى البحر بالنسبة لسطحه الأفقى يمثل سعة الموجة ، ووحدة قياس سعة الموجة هى وحدة مسافات المتر أو أجزاء منه . . إلخ .

(٢) الدورة (T) : تعرف الدورة بالزمن الذى تستغرقه نقطة معينة من الوسط ، تهتز بفعل الموجة حتى تنطلق سعتها من الصفر إلى القيمة العظمى باتجاه معين ثم تعود مرة أخرى إلى الصفر ومنه إلى القيمة العظمى فى الاتجاه المعاكس ثم تعود

مرة أخرى إلى الصفر، هذا الزمن يسمى «دورة الموجة» (الزمن الدورى)، ووحدة القياس هى الثانية.

(٣) التردد (F) : هو عدد الدورات الاهتزازية للموجة فى الثانية الواحدة. وهذا العدد قد لايكون عدداً صحيحاً. والتردد يساوى مقلوب الدورة ووحدة القياس هى $\frac{\text{عدد الدورات}}{\text{ثانية}}$ أو مايسمى بالهرتز نسبة للعالم هرتز.

(٤) الطول الموجى (λ) : هو المسافة التى تقطعها الموجة فى الوسط الذى تنتقل فيه وفى فترة زمنية تساوى زمن الدورة. أى أن الطول الموجى هو المسافة بين قمتين متتاليين بالموجة أو قاعين متتاليين أو أى نقطتين متتابعتين بها ووجد أن :

سرعة انتشار الموجة فى الوسط = التردد × الطول الموجى

(٥) الطور الموجى : هو المسافة الزمنية التى تفصل بين موجة وأخرى.

ز) الموجات الكهرومغناطيسية :

لم تفسر نظرية يونغ طبيعة الموجات الضوئية التى بقيت غامضة لحين مجئ العالم الاسكتلندى «كلارك ماكسويل» كما ذكر سلفاً.

لاحظ ماكسويل إنبعاث خطوط القوى التى تمثل خطوط المجال الكهربائى فى كافة الاتجاهات، كما لاحظ أن هذه الخطوط التى تمثل شدة المجال الكهربائى حول الشحنة الكهربية يصيبها إعوجاج عند زعزعة الشحنة. ويعتبر الإعوجاج الحاصل بمثابة مؤشر عن تحرك الشحنة. وعندما تتحرك الشحنة بطريقة دورية (أى إلى أعلى وإلى أسفل) وباستمرار، فإن الخطوط المعوجة تأخذ شكل موجات مستمرة على خطوط المجال الكهربائى المنبعثة من الشحنة. وأن هذه الموجات تنتقل بسرعة تساوى سرعة الضوء. والجدير بالذكر أنه فى عام ١٨٧٣م وضع ماكسويل فروض نظريته الكهرومغناطيسية التى تصف هذه المسألة. واستنتج ماكسويل وجود موجات كهرومغناطيسية، والمجالات المتغيرة فيها تولد مجالات أخرى محاذية إليها. وأن هذه الاضطرابات تنتقل فى الفضاء بسرعة تساوى ٣×١٠^٨ متر / ثانية. وهذه القيمة تساوى سرعة انتشار الضوء فى الفراغ.

والموجات الكهرومغناطيسية تمتلك كافة الخصائص المعروفة للموجات الضوئية. إذ، الضوء هو نوع من الاشعاعات الكهرومغناطيسية التى لاحظها ماكسويل، ولكن ذو طول موجى معين. إن انتقال (انتشال) الموجات يتضمن تغير المجال المغناطيسى الذى يولد مجالاً كهربائياً متغيراً. وإن هذا الأخير بدوره يولد مجالاً مغناطيسياً متغيراً... وهكذا! إذاً، انتقال الموجة الكهرومغناطيسية هو

انتقال المجال الكهربى والمجال المغناطيسى فى الفضاء، وأن كلا المجالان متعامدان على اتجاه انتشار الموجة.

والجدير بالذكر أنه فى عام ١٨٨٨م، تمكن العالم «هنرى هرتز» من تحقيق فروض ماكسويل عملياً وتوليد الموجات الكهرومغناطيسية. وأوضح أن الموجات الكهرومغناطيسية تسلك سلوكية الضوء من حيث الإنعكاس والانكسار والتداخل والحيود وكذلك الإستقطاب، وبهذه الطريقة برهن هرتز أن الضوء هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسى.

ن) الطيف الكهرومغناطيسى:

تتشابه الموجات الكهرومغناطيسية المؤلفة للطيف الكهرومغناطيسى بالخواص ولكنها تختلف بطول موجتها وترددها وطريقة توليدها، على سبيل المثال، موجات الراديو والتليفزيون والموجات الدقيقة التى تتراوح أطوالها الموجبة بين ٢٠٠٠٠ متر نازلاً حتى جزء من السنتيمتر. أما الموجات تحت الحمراء غير المرئية فإن أطوالها الموجية تمتد من جزء من السنتيمتر وحتى ٨٠٠٠ انجستروم (واحد انجستروم = ١٠$^{-١٠}$ المتر).

أما الضوء المرئى فيمتد من ٨٠٠٠ انجستروم وحتى ٣٠٠٠ انجستروم، والأشعة فوق البنفسجية غير المرئية تقترب من ٥٠ انجستروم، أما الأشعة السينية (أشعة اكس) التى منشأها اضطرابات فى التركيب الإلكترونى للذرة، فيمتد إلى مقدار ٠,٣ انجستروم. وأخيراً أشعة جاما التى مصدرها اضطراب فى نواة الذرة فإن طولها الموجى يصل إلى ١٠$^{-٥}$ انجستروم.

ل) النظرية الفوتونية:

بقيت النظرية الكهرومغناطيسية سائدة حتى نهاية القرن التاسع عشر، واعتقد العلماء حينذاك أن كل شئ عن الضوء والبصريات بات معروفاً. إلا أن اختبار الإنبعاث الكهروضوئى أعاد موضوع الضوء إلى بساط البحث مرة أخرى. وقد برهن العالم «ألبرت اينشتين» أن الضوء لايحتاج إلى وسط لانتقاله، كما أضاف فكرة جديدة وهى أن الضوء له طبيعة موجية وجسيمية. ومغزى هذه الفكرة أن طاقة الشعاع الضوئى تكون محصورة فى رزم (ضمات) صغيرة سميت «بالفوتون». مع احتفاظ هذا الفوتون بمواصفات التردد والطول الموجى وباقى مواصفات الموجة الكهرومغناطيسية. وأعطى طاقة تتناسب مع التردد الموجى مقدارها $E = hf$، حيث تمثل h ثابت عام سمى «ثابت بلانك» وحددت قيمته بالمقدار ٦,٦٢٤ × ١٠$^{-٣٤}$ جول فى الثانية.

بعد ذلك، جاءت اختبارات العالمان ميليكان وكومبتون عن تصادم الفوتون بالإلكترون وثبوت أن الفوتون شبيه بالمادة وله طاقة حركية وعزم.

بعد كل ما تقدم، قد يتساءل المرء عن ماهية الضوء؟ هل هي طبيعة تستنج من البصريات الهندسية أم كهرومغناطيسية أم فوتونية؟ فالنظرية الهندسية للضوء لاتشكل أى معضلة علمية فهى تقرب الموضوع دون الدخول فى تفاصيله ولاتناقض النظرية الكهرومغناطيسية التى تستطيع شرح كل قواعدها.

ولكن تبقى البصريات الهندسية فقط لشرح الاختبارات الضوئية البسيطة.

أما المشكلة الرئيسية والكبيرة فتتعلق بحل التناقض العلمى الصريح بين النظريتين الكهرومغناطيسية والفوتونية. فالنظرية الكهرومغناطيسية تعجز عن شرح تفاعلات الضوء مع المادة، مثل الانبعاث الكهروضوئى (الفوتو ـ إلكترونى)، والنظرية الفوتونية تعجز هى أيضاً عن تفسير عامل التداخل والحيود الضوئيين، ولذلك قرر العلماء اعتماد مبدأ الازدواجية فى طبيعة الضوء الكهرومغناطيسية والفوتونية. تستعمل الأولى فى كل مايتعلق بانتشار الضوء وتفاعلاته، أما الثانية فتستخدم عند دراسة تبادل الطاقة بين الضوء والمادة.

ك) أشعة الليزر وتطبيقاتها:

فى بداية الستينيات من القرن العشرين، حقق الفيزيائيون حلمهم وتمكنوا من توليد أشعة الضوء المميزة التى أطلقوا عليها اسم «الليزر». هذا الاسم مشتق من المصطلح الانجليزى:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

ويعنى باللغة العربية : «التضخيم الضوئى بواسطة الانبعاث التحريضى (الحثى) للاشعاع».

ويعود الفضل فى فهم فيزياء الليزر إلى العالم الفيزيائى «البرت اينشتين» الذى تمكن من شرح فكرة إنتاج أشعة ضوئية من ذرات المواد المختلفة عن طريق تحريضها (حثها) فوتونياً، وكما نعرف من قوانين الفيزياء الحديثة، أن ذرات المواد تتكون من مناسيب طاقية مختلفة قد تتواجد بها الإلكترونات ويمكن تمثيلها بخطوط أفقية.

وطبقاً لنظرية الانتقال الإلكترونى، وعند هبوط الإلكترونات فى الذرات المتهيجة (المستثارة) إلى منسوب طاقة أوطأ، فى هذه الحالة ينبعث ضوء (أو فوتون)، يعتمد طوله الموجى على الفرق بين المناسيب الطاقية التى يتحرك بينها الإلكترون.

واستكمالاً لطبيعة الضوء التى سبق ذكرها، استطاع اينشتين أن يبرهن على أن الضوء لايحتاج إلى وسط كما هو فى انتقال الموجات الصوتية. كما وضع فكرة جديدة لتفسير السلوك الضوئى تبعاً للنظرية الموجية والجسيمية معاً. ونجح فى تفسير ظاهرة الإنبعاث الكهروضوئى الذى كان لها بالغ الأثر فى الربط بين الأشعة الكهرومغناطيسية والانتقالات الإلكترونية بين المناسيب الطاقية فى الذرات.

والجدير بالذكر أنه أشار فى دراسته حول إمكانية حدوث الانتقالات الإلكترونية طبقاً للعمليات الآتية :

أولاً : عملية الامتصاص

فى هذه العملية يتم ضخ الإلكترونات وهى فى مستوى الاستقرار (المستوى الأرضى وهو أقل منسوب طاقى بالذرة) بطاقة كافية يمتصها الإلكترون وينتقل بها إلى مناسيب طاقية متهيجة بالذرة.

ثانياً : عملية الانبعاث التلقائى للأشعة

فى هذه العملية يعود الإلكترون بعد فترة وجيزة من منسوب الطاقة المتهيج إلى مستوى الاستقرار بالذرة بطريقة تلقائية، دون أى مؤثر خارجى. ويصاحب ذلك إنبعاث فوتون بطاقة مساوية للفرق بين هذين المنسوبين.

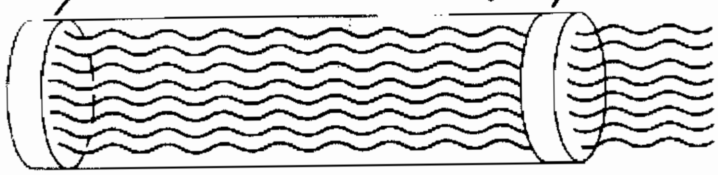
ثالثاً : الانبعاث التحريضى (المستحث) للاشعاع

فى هذه العملية يمكن تحريض الإلكترون المتهيج من العودة إلى مستوى طاقة أقل بالذرة باستخدام أشعة ضوئية محرضة. والشرط الرئيسى لاتمام العملية أن يكون طاقة الفوتون المحرض مساوية للفرق بين مناسيب الطاقة التى ينتقل بينها الإلكترون.

فى ذلك الوقت، تمكن العلماء من التحقق عملياً من العمليتين الأولى والثانية بينما لم يستطعوا من مشاهدة ظاهرة الانبعاث بطريقة التحريض الضوئى وذلك لأسباب عديدة نذكر منها ضعف شدة الكثافة الإشعاعية المتولدة بالتحريض.

واستطاع الفيزيائيون فى وقت لاحق من التغلب على هذه المعضلة العلمية عن طريق تضخيم الأشعة المحرضة بواسطة المركبات البصرية. والآن أمكن توليد أشعة الليزر المميزة لتغطى المدى الطيفى المرئى وغير المرئى للموجات الكهرومغناطيسية. وتم تصنيع أنواع عديدة من مولدات الليزر فى حالات المادة الأربعة : الصلبة والغازية والسائلية والبلازمية. وبدون الدخول فى التعقيدات التكنولوجية يتكون أى جهاز كمولد لأشعة الليزر من أربع وحدات أساسية هى :

١) وحدة وعاء الليزر : يحتوى هذا الوعاء على المادة الفعالة التى تولد الضوء. وبين طرفيه يوجد مرآتان أحدهما عاكسة بنسبة ١٠٠٪ والأخرى عاكسة جزئياً وذلك لتوفير شرط الحصول على معامل كسب إشعاعى كبير.



وعاء الليزر يبين التوافق الضوئى للأشعة المولدة

٢) وحدة الطاقة : وهى توفر الطاقة اللازمة لتهيج الذرات فى المادة الفعالة.

٣) وحدة نقل الطاقة : وهى الوحدة المسئولة عن توفير الوسيلة المناسبة لضخ الطاقة إلى المادة الفعالة.

٤) وحدة التبريد : وهى ضرورية لتبريد الجهاز من الحرارة المتولدة أثناء التشغيل. وقد يكون التبريد هوائى أو مائى أو باستخدام الكيروسين... إلى آخره.

ويتميز شعاع الليزر عن الضوء التقليدى بأربع خصائص هى :

أ) شدة الكثافة الضوئية.

ب) كفاءة التوجيه الضوئى.

جـ) أحادى اللون.

د) التوافق الموجى.

فضوء الليزر يكون مكثفاً ويصدر على هيئة حزم ضوئية ضيقة يسهل توجيهها باستخدام المرايا، ويعتمد لونها على المادة الفعالة المستخدمة، كما تكون موجاتها الضوئية متوافقة فى الطور الموجى.

ونظراً للخصائص الفريدة المميزة لأشعة الليزر فقد اطلق عليها العلماء شعار «الحل الذى يبحث عن مشكلة»!.

وحالياً يستخدم الليزر فى العديد من التطبيقات فى شتى المجالات نذكر منها على سبيل المثال وليس الحصر ما يلى :

أولاً : المجالات الصناعية :

يستخدم الليزر فى العمليات الصناعية الآتية بكفاءة عالية

(١) القص (٢) اللحام (٣) التثقيب

(٤) القطع والإزالة (٥) التبخير (٦) المعالجة الحرارية

(٧) الصناعات الإلكترونية الدقيقة

(٨) التصميم والتفصيل

ثانياً : المجالات الزراعية :

يستخدم الليزر فى تطوير الخدمات الزراعية الآتية :

(١) تسوية الأراضى الزراعية

(٢) المعالجة الجينية للمحاصيل

(٣) الهندسة الوراثية

ثالثاً : المجالات الطبية :

يستخدم الليزر الآن وبكفاءة فى أغراض التشخيص والعلاج نذكر منها مايلى :

(١) علاج أمراض العين (مثل لحام الشبكية وعيوب القرنية) .

(٢) معالجة الزوائد اللحمية الداخلية .

(٣) تشخيص واستئصال بعض الأورام السرطانية .

(٤) انتفاخ الأوعية الدموية عند المصابين بمرض السكر .

(٥) الجراحة العامة .

(٦) عمليات التجميل والتكميل وإزالة النمش والوشم .

(٧) أمراض الأذن والحنجرة .

(٨) المناظير الطبية .

(٩) تفتيت حصوات الكلى .

رابعاً : علوم الفضاء والاتصالات :

تستخدم أشعة الليزر عبر الأقمار الصناعية فى مجالى :

(١) الاتصالات (٢) القياسات الدقيقة .

خامساً : فى المجالات الهندسية والبيئية :

يستخدم الليزر فيما يلى :

(١) قياس المسافات والمساحات بدقة .

(٢) قياس تدفق السوائل .

(٣) قياس الحركات الدورانية والدوامية .

(٤) قياس السرعات .

(٥) ميكانيكا الجزيئات .

(٦) قياس تلوث البيئة .

سادساً : مجال الفنون :

يستخدم الليزر فى التطبيقات الآتية :

(١) الطباعة الدقيقة .

(٢) التصوير المجسم .

(٣) النقش وتقطيع السيراميك .

سابعاً : التسلية :

يستخدم الليزر فى التطبيقات الآتية :

(١) التسجيلات الفلمية والصوتية .

(٢) تشفير الأصوات الموسيقية إلى شفرات ضوئية .

ثامناً : المعلومات :

يستخدم الليزر فى مجال تخزين المعلومات واسترجاعها وكذلك فى الماكينات الحاسبة بالمحلات التجارية للتحكم فى قوائم البيع .

تاسعاً : الخدمات الاجتماعية ومكافحة الإجرام :

يستخدم الليزر فى التطبيقات الآتية :

(١) مساعدة المكفوفين .

(٢) أجهزة الإنذار لأغراض الحراسة .

(٣) تحصيل البصمات وتسجيلها رقمياً .

عاشراً : المختبرات التعليمية فى المدارس والجامعات :

حادى عشر : البحوث العلمية :

يستخدم الليزر فى مجال تطوير البحوث فى العلوم الأساسية الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وفى بحوث الطاقة وتطوير علوم المواد .

اثنى عشر : العلوم العسكرية :

يستخدم الليزر فى التطبيقات العسكرية الآتية :

(١) رصد وتحديد الأهداف .

(٢) التوجيه والتحكم الصاروخى.

(٣) أعمال المناورات.

(٤) الإنذار المبكر.

(٥) الاتصالات.

(٦) الرادار.

والآن، ونحن على أعتاب القرن الحادى والعشرين يبذل الفيزيائيون الجهود المضنية من أجل تصنيع ليزرات عملاقة تستخدم فى توليد الطاقة النظيفة (طاقة الاندماج النووى). فقد يشهد المستقبل القريب تحقيق حلم البشرية فى توفير الطاقة والحفاظ على البيئة الخالية من التلوث فى آن واحد.

(٥) القسم الرابع : الفيزياء ودنيا المستقبل

٥ ـ ١) النانو فيزياء والنانو تكنولوجى

نجح الفيزيائيون فى العقد الأخير من القرن العشرين فى اكتشاف طرق جديدة لترسيب المواد المختلفة فى أحجام متناهية الصغر تقدر بالمقياس بالنانومترى (واحد نانومتر يساوى جزء واحد من ألف مليون جزء من المتر) . وفى الوقت الحالى أصبح علم النانو فيزياء شائعاً فى التخصصات البينية التى تربط مجالات الفيزياء والكيمياء والبيولوجى . هذا العلم مرتبط بتطور المواد المتقدمة والمواد البيولوجية والإلكترونيات الحيوية والهندسة الجزيئية . والسؤال الهام الذى يطرح نفسه يتعلق بمدى استخدام المواد المصنعة وربطها مع النظم البيولوچية مثل تصنيع الأعصاب والتعامل مع الاشارات المرسلة والمستقبلة .

وجميع هذه النظم تكون على المقياس النانوى ، فمثلاً حجم جزئ كربون ستين (C60) المعروف يكون واحد نانومتر ، بينما الأغشية الحيوية لايتعدى سمكها ١٠٠ نانومتر ، ولذلك فإن المقياس النانوى يتروح بين ١ ـ ١٠٠ نانومتر وهو مقياس للعمليات الجزيئية الحيوية .

ومؤخراً ، تطورت النظريات التى تفسر سلوك المواد متناهية الصغر (النانوية) ونشأت الفيزياء الكمية للنظم النانوية التى تعتنى بدراسة مايلى :

(*) الانتقال الكمى التوافقى للتركيبات المعقدة .

(*) التوصيل الفائق للمواد عند درجات حرارة مرتفعة .

(*) الكمبيوتر متناهى الصغر بالنسبة للمقياس النانوى .

(*) العمليات الفيزيائية الكمية للمعلوماتية والاتصالات .

(*) البيو إلكترونيات والإلكترونيات الجزيئية .

وقد أطلق العلماء على هذا التخصص الفيزيائى «الميزوسكوبى» الذى يتعلق بفيزياء الإلكترون فى الأبعاد متناهية الصغر .

ومن المعروف أن أجهزة الكمبيوتر تنتج المعلومات بدون تكاليف تذكر ، وحالياً تتجه الشركات المنتجة إلى الدفع فى اتجاه اختراعات جديدة قليلة التكاليف . ويتم ذلك بمعالجة ذرات المواد المختلفة كل على حدة ، كما تقسم المعلومات إلى «بايت» تعالج رقمياً بالكمبيوتر . وتسمح هذه المعالجة بتشييد آلى للمنتجات دون أى تدخل إنسانى . ويجرى حالياً العمل فى مجال البيو إلكترونيات تسمح بالتعامل مع الذرات بطريقة انفرادية مثل البروتينات فى ثمرة البطاطس التى تتحايل على الذرات فى التربة الزراعية وجزيئات الماء من أجل نسخها ذاتياً .

وعلم النانو تكنولوجى هو ببساطة التصنيع الجزيئى أى بناء الأشياء ذرة بذرة أو جزيئاً بجزيئاً .

وبالطبع يمكن الاستفادة من الدراسات الفيزيائية ومعرفة الخصائص الذرية والجزيئية فى مجال النانو تكنولوجى الخاصة بتصنيع الأجهزة العلمية فى الحجم النانوى ذو خصائص غير اعتيادية . والوسيلة إلى ذلك هى التحايل على الذرات بطريقة فردية ووضعها فى المكان الذى تحتاجه التركيبات المطلوبة .

والجدير بالذكر أن التوقع ببلوغ الذروة فى تطور هذا المجال الهام مازال بعيداً عن الانجازات البشرية ، إلا أن العلماء يبذلون الجهود المضنية من أجل استخدام النانو تكنولوجى فى المجالات الآتية :

١ ـ التركيب الذاتى للمنتجات الاستهلاكية .

٢ ـ إنتاج كمبيوتر أسرع بلايين المرات من الكمبيوتر الحالى .

٣ ـ اختراعات حديثة جداً (مستحيلة حالياً) .

٤ ـ توفير وسيلة انتقال للفضاء بطريقة آمنة وسهلة .

٥ ـ توفير معدات طبية نانوية تعالج أمراض الشيخوخة .

٦ ـ توفير التعليم ورفع كفاءته لجميع أطفال العالم .

٧ ـ إعادة إنتاج النباتات والحيوانات النادرة .

٨ ـ دراسة المكونات الأرضية والنظام الشمسى .

ويعتقد الخبراء أن ثورة النانو تكنولوجى سوف تعالج ما أفسدته الثورة الصناعية .

ولعلنا نتخيل إمكانية علاج «مرضى السرطان» بواسطة شراب طبى يحتوى على عصير الفواكه الذى يفضله المريض ، وتخيل إمكانية إنتاج جهاز كمبيوتر فائق لايتعدى حجمه حجم الخلية البشرية .

وكذلك تخيل إمكانية السفر إلى الفضاء فى سيارة فضائية لأربعة أفراد ، لايتعدى تكلفتها ثمن السيارة العائلية اليوم . وهناك بالطبع منتجات عديدة يمكن أن توفرها النانو تكنولوجيا . وسوف تواجه البشرية فى القريب ثورة اجتماعية هائلة ومتسارعة . ويتوقع أن ينجح العلماء من تصنيع أول «روبوت» نانوى يعتمد على نفسه . وخلال بضعة سنوات سيتم إنتاج نحو خمسة بلايين من الربوتات النانوية التى يمكن القيام بجميع العمليات الصناعية فى شتى المجالات وتعمل على توفير المنتجات الذكية منخفضة التكاليف ذوات عمر افتراضى طويل . كما

سيحدث طفرة نوعية فى علم الطب والعقاقير الدوائية وسيتيح السفر الآمن للفضاء واستعماره.

والثورة التكنولوجية الجديدة بعيدة عن الخبرات البشرية المعتادة وستكون قادرة على زيادة الثروة والصحة والتعليم بدون تلوث للبيئة ولكل سكان الأرض، ولاتحتاج إلى تقطيع الأشجار فى الغابات أو تلوث الهواء بالدخان.

ففى الطبيعة تستخدم الماكينات الجزيئية لمحاكاة النظم الحيوية، فإذا رغبت أن ترى ماكينة نانو تكنولوجية عليك فقط النظر فى المرآة. ففى العلوم الأساسية، الفيزياء والكيمياء والبيولوجى، يمكن للعلماء تحفيز المادة فى المقياس الذرى. على سبيل المثال يعتبر البروتين ماكينة جزيئية يمكنها أن تعالج الذرات بطريقة فردية. وحالياً يمكن لمهندس البروتين تصنيع مكونات البروتينات (عشرين حامض أمينى) الطبيعية، مما أدى إلى معرفة خصائص البروتين الصناعى. والكيميائيون يمكنهم الآن تخليق جزيئات أكثر تعقيداً تستخدم فى العمليات الفيزيائية المعقدة. والسؤال المثير يتعلق بكيفية معالجة النانو تكنولوجى لمشكلة المجاعة والأمن الغذائى العالمى. فحالياً، يستخدم العلماء الصوب الزراعية لتهيئة المناخ الطبيعى للتربة. ويتوقع فى القريب إمكانية أن تساهم النانو تكنولوجى فى تصنيع الأطعمة من صفوف ذرية لها نفس التركيب الطبيعى.

وبالطبع إن الوصول إلى التطبيقات الملموسة للنانو تكنولوجيات قد يستغرق وقتاً، إلا أن ذلك يحتاج إلى الجهود المضنية للعلماء. ولابد أن نعترف أن التطور فى هذا المجال يعتبر من المعجزات الواعدة، فأول الأشياء التى يمكننا الحصول عليها من النانو تكنولوجى! فى نظر علماء الغرب هو «الخلود»!!. والآن، دعنا نقفز على الأحداث عبر السنين ونفرض أن المجمع النانو تكنولوجى أصبح حقيقة ويمكن استخدامه لصنع أى شئ، إنها حقاً قفزة هائلة إلى المستقبل!

٥-٢) فيزياء المواد الرخوة والبللورات السائلة

خلال العقود الماضية تعلمنا كيف نتعامل مع مواد مثل البللورات السائلة والجيلاتينات والرغويات والبلمرات وجزيئاتها المعقدة. هذه المواد تسمى «المواد الرخوة» أو «المواد الهشة». هذه المواد ليس لها تركيب اعتيادى يتبع فيه حالات المادة الصلبة والسائلية والغازية. بل هى مواد تركيبها لايكون صلداً وتماثلها بلورى فى الحالة الصلبة، وليس لها تركيب خاص وتتميز بعدم الانتظام مثل الموائع أو الغازات. هذه المواد لها خواص رائعة غير اعتيادية بعضها تتغير لزوجته والبعض الآخر تتشكل طبقاته الجزيئية من بعدين مثل السوائل. بعضها يكون متسقطباً للضوء وجزيئاتها تأخذ نفس الاتجاه بانسجام تام. بعضها يصنع من الرغويات

والفقاعات والشموع واللدائن وأشياء أخرى كثيرة مما نستعمله فى حياتنا اليومية.

ففى القرن الثامن عشر اكتشف الهنود الحمر ببلاد الأمازون عصائر شجرة الهيفيا وقاموا بطلاء أرجلهم بها لصنع أحذيتهم. وفى عام ١٨٣٩م استطاع العالم الأمريكى «جوديير» من تفسير تكون المطاط الطبيعى، بعد تفاعل هذا السائل مع الأكسجين المتواجد فى الهواء، واستبدل «جوديير» عنصر الأكسجين بعنصر الكبريت الذى أعطى نتائج مذهلة فى استقرار الخصائص المطاطية. إن جزيئات البلمر الطويلة تكون على هيئة جسيمات مرنة. هذه الفكرة طرحها العالم الألمانى «ريتشارد كوهين» (١٩٠٠ - ١٩٦٧م) وتمكن بذلك من شرح مرونة المطاط العجيبة.

وبالنسبة لموضوع المتعلقات مثل الكتابة عند قدماء المصريين واللدائن العربية والحبر الصينى. فقد كان القدماء فى الكهوف يستعملون السوائل الملونة. والتقنية البسيطة الواضحة هى تذويب بعض المساحيق الملونة فى الماء مثل الكربون الأسود أو الفحم النباتى والأكاسيد البنية والصفراء والحمراء... إلى آخره. وباستخدام العصى الخشب أو قطع من الجذع أو ريش الطيور وأخيراً القلم المعدنى مع فرشاة الشعر، يمكن ترسيب الحبر أو الطلاء على شريحة اسفنجية مثل الخشب أو ورق البردى أو الحجر أو الورق. وتعتبر السوائل مفيدة لهذا الغرض، حيث إنها تبلل وتشبع الشريحة وتسحب منها الحبوب الدقيقة الملونة التى تجف وتصبح صلبة. والصورة التى خطها قدماء المصريين كانوا يستخدمون فيها الحبر الأسود وتحضيره باختصار يتم عن طريق استعمال شمعة وترسيب الكربون الناتج على هيئة جسيمات دقيقة تسمى الكربون الأسود، ثم يوضع هذا الكربون فى الماء ويخضخض بقوة، ينتج عن ذلك الحبر الأسود. ووجد الكاتب المصرى القديم أن هذا الحبر الأسود يصبح عديم اللون والفائدة بعد فترة وجيزة مع تراسيب سوداء فى القاع. وكان عليه أن يعيد العمل مرة أخرى. وفى الألفية الثانية استطاع الكاتب العبقرى من استعمال اللدائن (الصمغ) العربية ووضعها فى المحلول الكربونى الذى لم يترسب فى القاع. ولم يعرف أحد سبب ذلك ولكن كانت النتيجة إنتاج الحبر الأسود المستقر على الأقل لمدة عام كامل.

والفكرة ببساطة تتعلق بتدخل الصمغ فى منع التلبد. فعندما تتصادم ذرات الكربون تتجمع وتكون حبيبات كبيرة تسقط إلى القاع بفعل الجاذبية. أما إضافة الصمغ العربى الذى يتواجد فى شجرة الأكاسيا يحتوى على جزيئات سكر طويلة

من حامض بوليهيالورونيك. هذه الجزيئات سرعان ما تتحلل فى الماء وتلتصق بسهولة على حبيبات الكربون وشيئاً فشيئاً ترتبط الحبيبات بعدد كبير من جزيئات السكر وتخلق مايشبه غابة من الشعر مثل أكاليل الزهور على سطح الحبيبة، وعندما تتقارب هذه الأكاليل من الحبيبات تنجذب بعضها لبعض بفعل مايسمى «بقوة فان ديرفال»، إلا أنه عندما يتقاربان تتلامس جزيئات السكر التى سرعان ما تتحلل فى الماء بفعل تأثير الهدرجة، فإن ترابطهما مع جزيئات الماء يكون أقوى من قوى جذب فان ديرفال، وفى النهاية تنشأ قوة تنافر تمنع تقارب حبيبات الكربون. وهكذا نرى كيف تصبح حبيبات الكربون معزولة وتصبح المتعلقات الكربونية أو ما يماثلها مستقرة.

وبذلك تستخدم المضيفات من جزيئات البلمر فى استقرار الغرويات التى تلعب دوراً مهماً فى حياتنا، حيث إنها تدخل فى كثير من المنتجات الغذائية كالكريم والمسلى الصناعى والمايونيز، وكذلك صناعة الزيوت، وأدوات التجميل. فمع إضافة قليل من البلمر تتحول المادة إلى ما يسمى بالمواد الرخوة.

أما بالنسبة لتكنولوجيا البلل، فمن المعروف أن خصائص الأسطح تلعب دوراً عملياً هاماً، وتتضمن العديد من المشاكل الفيزيائية مثل مشاكل التشحيم. فقطرة من الزيت تمنع الباب من الصرصرة أو تسمح لموتور ما بالدوران بسرعات عالية عند درجات حرارة مرتفعة. وهناك نوعان من البلل هما: البلل الكلى. ويعود الفضل إلى دراسة علم البلل إلى كل من العالم الإنجليزى «توماس يانغ» (١٧٧٣ - ١٨٢٩م) والعالم الفرنسى «بيير سيمون دى لابلاس» (١٧٤٩ - ١٨٢٧م). أما موضوع «الفقاعات والرغويات» فإن فقاعة الصابون تمثل أطوار الحياة، فهى تولد وتنمو وتتطور وتشيخ ثم أخيراً تختفى. وظاهرة تكون الفقاعات ترتبط بمعامل التوتر السطحى. وقد أصبح «دى جين» أنه لاتوجد حياة بدون المادة الرخوة، فكل تركيب بيولوجى تحتوى جزيئاته على الشفرة الوراثية والبروتين والأغشية قد تأسست على هذا المفهوم. والفيزياء يمكنها طرح إطار عام، أما البيولوجيا لها طرق خاصة للمشاهدة والاكتشاف. المادة الحية تعتمد على المبادئ وأسس المادة الرخوة بدقة متناهية والتى غالباً ما تكون وراء ملكوت علماء الفيزياء. وفى الوقت الحالى يشهد علم المواد الرخوة تقدماً كبيراً سوف نستفيد منه مستقبلاً. وما يهمنا توضيحه هنا هو مساهمة هذا العلم على المستوى الثقافى. فعلم المواد الرخوة يبنى على التجربة والاتقان. على سبيل المثال، دعنا نستفيد من حالة البلورات السائلة ومدى التحدى فى التحول الجزيئى الذى يجعل من تطبيقاتها العهد الجديد للتكنولوچيا.

نعرف الآن، أن المادة على الرغم من كونها تبدور متجانسة ظاهرياً إلا أنها تتألف من تراكيب دقيقة لايمكن مشاهدتها بصورة مباشرة، حيث إنها تتكون من ذرات وجزيئات.

والجدير بالذكر، أن ذرات المادة تستقر فى حالة اتزان داخلها تحت تأثير قوى بينية كبيرة بعضها جاذب والآخر طارد. وتتوقف هذه القوى وشدتها على نوع المادة المعينة. والقوى الجاذبة فى المادة تنقسم إلى ثلاثة أنواع هى :

(أ) **قوة كولومية** : تعتمد على التجاذب الكهربائى بين الشحنات المختلفة الإشارة، كما يحدث فى حالة البلورات الأيونية مثل كلوريد الصوديوم (ملح الطعام).

(ب) **قوى فان درفال** : وتحدث نتيجة دوران الإلكترونات فى مداراتها حول نواة الذرة.

ويتسبب عن ذلك ما يسمى بثنائى القطب الكهربائى، وهذا يتجاذبها مع بعضها فى الذرات المتجاورة، تحدث ما يطلق عليه بقوى فان درفال. وهى غالباً قوى ضعيفة كما هو الحال فى الشمع وذلك بسبب انخفاض نقطة انصهاره.

(ج) **قوى التبادل** : وتنشأ عندما يحدث اتحاد كيميائى ينتقل فيه الإلكترون من الذرة الأولى إلى ذرة مجاورة. هذا الانتقال يتسبب فى تلاصق الذرتين بقوة كبيرة.

أما القوى الطاردة فى المادة فتنتج بسبب التنافر بين الشحنات السالبة (الإلكترونات) المحيطة بكل ذرة التى يصبح تأثيرها كبيراً جداً، عندما تقترب الذرات من بعضها بدرجة كبيرة تحت تأثير القوى الجاذبة سالفة الذكر.

ومن أهم الدروس التى يتعلمها المرء أثناء مراحل التعليم الأولى، هو أن المادة تتواجد فى ثلاثة حالات مختلفة هى: الحالات الصلبة والسائلة والغازية. وهذا ليس حقيقياً كلية، حيث وجد أن المادة قد تتواجد فى أطوار بينية أخرى تجعلها بين الحالة الصلبة والسائلة وتسمى فيها المادة «بالبللورات السائلة» (Liquid Crystals). وحالياً، ترتبط الأفكار عن المواد المختلفة فى حالتها البلورية السائلة عندما نستعمل الساعات الرقمية أو شاشات الكمبيوتر أو الثرمومترات الرقمية المستخدمة فى قياس درجات الحرارة. إلا أن هذه المواد أصبحت الآن أكثر شيوعاً، فهى تشمل معظم النظم البيولوجية متضمنة حتى أنفسنا، فنرى أن خلايا الأغشية "Cell Membrane" ماهى إلا تأثير للمواد فى حالتها البلورية السائلة التى لها خواص ميكانيكية وكهربائية غير عادية.

وحالياً، تتعدى تطبيقات مواد البلورات السائلة كافة المجالات المدنية والعسكرية، وتهتم الدول المتقدمة بتطوير مجال البحوث لهذه المواد التي يتوقع الخبراء أن تكون العهد الجديد للتكنولوجيا في القرن الحادى والعشرين.

ونظراً لأهمية هذا الموضوع، فيما يلي سوف نلقي الضوء على الآفاق العلمية والخصائص الفيزيائية للبلورات السائلة.

تعود قصة اكتشاف المواد البلورية السائلة إلى بداية القرن التاسع عشر الميلادى، خاصة بعد تطور أجهزة التكبير المجهرية "Optical Microscopes". حيث كان الباحثون في ذلك الوقت يستعملون هذه الأجهزة في البحوث العلمية المتعلقة بدراسة خواص المواد المختلفة وتركيبها الدقيق.

ففي عام ١٨٥٣م، اكتشف العالم الألماني «رودلف فيرشو» مادة الميلين "Myelin" التي تغلف الأعصاب. ويعتبر «رودلف فيرشو» أول عالم لاحظ تكون المادة في طورها البلورى السائلي خلال المجهر البصرى. ولكنه لم يكن في حينه على يقين أن هذه المادة (الميلين) في حالتها البلورية السائلة.

وفي عام ١٨٨٨م، استطاع العالم الألماني «أوتو ليهمان» المتخصص في دراسة درجات انصهار المواد من تعريف المادة وهي في حالتها البلورية السائلة، خاصة أنه كان على دراية تامة بحالات التبلور في المادة باستعمال المجهر البسيط. والجدير بالذكر، أنه خلال هذه الأثناء كان العالم النمساوى «فردريك رينتزير» يحضر بعض المركبات العضوية التي تسمى «بنزوات كوليستريل»، ولاحظ خصائص غريبة تميز هذه المركبات خاصة بالقرب من درجة انصهارها. إلا أنه كان يعلم في ذلك الوقت أن هذه المواد النقية قد تتغير من كونها في الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة حرارة خاصة ومميزة. وبطريقة غير مألوفة شاهد «فردريك» أن لهذه المركبات نقطتين للانصهار باختلاف باقي المواد المعروفة. أحدهما عند درجة حرارة ١٤٥,٥°م وتكون طور جديد للمادة والذى سمي بالطور البيني "Mesophase". واتضح بعد ذلك أن المادة في هذا الطور البيني يمكنها استقطاب الضوء بعكس السائل العادى الذى يظهر بلون أسود عند مشاهدته خلال مستقطب بصرى. أما المادة في طورها البيني فتضاء عند مشاهدتها خلال المستقطب البصرى وتظهر بألوان زاهية.

في عام ١٩٢٤م، برزت أهمية المواد البلورية السائلة عندما نجح العالم الألماني «دانيال فورلاندر» في تحديد الشكل الجزيئي لمكونات المواد وهي في حالتها البلورية السائلة. فقد اكتشف «دانيال» أن هذه الجزيئات معاً في مكان محدد

وتترتب بطريقة خاصة يكون لكل جزئ وضع خاص. أما الجزيئات على شكل قضيب بالإضافة أن لها وضع خاص يكون لهم جميعاً نفس الاتجاه "Orientational order".

ومن المعروف أن البلورات العادية تنصهر عندما تتغلب الطاقة الحرارية المؤثرة على قوة الترابط الجزيئية، وبالتالى ينكسر الترتيب البلورى ويتهدم الترتيب الجزيئى المكانى. عندئذ، تتحرك الجزيئات بحرية وبطريقة عشوائية. أما فى حالة الجزيئات القضيبية فقد تحدث بها أشياء أخرى، على سبيل المثال، عند درجة حرارة معينة قد يكون مقدار الطاقة الحرارية غير كافى لتغير القوى الجزيئية المسئولة على الترتيب الاتجاهى.

والترتيب الاتجاهى فى المادة يمتد ليغطى ملايين الجزيئات، وعلى ذلك فإن توحيد الاتجاه يسمى «الموجه». والجدير بالذكر، أن غياب الترتيب المكانى للجزيئات يغير من بعض الخواص الفيزيائية مثل تغيير قيمة معامل انكسار المادة، الذى يعتمد فى هذه الحالة على الاتجاه عند لحظة القياس بالنسبة للموجه. هذا الطور البينى يجعل المادة مرئية عند النظر إليها عبر المحلل الضوئى.

والملاحظ أنه عند زيادة التسخين، فإن هذا الطور قد يصل إلى درجة تهدم الترتيب الاتجاهى للجزيئات، فى هذه الحالة تصبح البلورات السائلة مجرد سائل عادى. ولذلك تسمى درجة الحرارة الظاهرية بأنها درجة الحرارة التى تناظر الانتقال من السحابة السائلة إلى السائل الظاهرى.

وعند التبريد، يحدث عملية عكسية، حيث ترتب الجزيئات القضيبية فى ترتيب التركيب المائع "Ordered fluid structure". هذا الترتيب المبسط للبلورات السائلة يسمى الطور النيماتى. وتعتبر مادة بنزوات الكوليستريل نوع خاص من الطور النيماتى اللاانطباقى "Chiral nematic phase".

واللاانطباقية هنا تعنى أن الجزيئات القضيبية تماثل اليد بدلاً من الشكل المسمارى. ففى حالة الطور النيماتى تستطيع جزيئات المادة من دوران الجزيئات القريبة منها بهدوء، هذه الخاصية تجعل موجه الجزيئات ذاته يلف بطريقة حلزونية. ودورة الدوران الحلزونية الكاملة غالباً ما تكون بطول الطول الموجى للضوء المرئى. وهذا يعنى أن الطول الموجى المنعكس بواسطة هذ الطور النيماتى يعتمد على عدد الدوران فى الطول المحدد. هذا ما يشابه عدد الخطوط فى المحزوز المستخدم فى عملية الحيود الضوئى التى بواسطتها يمكن تحديد الطول الموجى المنعكس من المحزوز.

وعادة تسمى الأطوار النيماتية «بأطوار الكوليستريل» نظراً لأن هذه الخاصية تم مشاهدتها أول الأمر فى هذه المادة. وحالياً، يتم إنتاج هذه المواد فى أطوارها الكوليسترلية على مستوى تجارى، حيث إن انعكاساتها المنتخبة للضوء تكون مرتفعة وتتغير مع تغير درجة الحرارة. ولذلك تستخدم هذه المواد من البلورات السائلة فى صناعة الترمومترات وكذلك فى تغيير ألوان الأجسام الحرارية.

وهناك أنواع أخرى من مواد البلورات السائلة أكثر تعقيداً فى أطوارها. على سبيل المثال، هناك بعض المواد بتسخين بلوراتها، فإن ترتيب جزيئاتها المكانى قد لايتهدم تماماً، بل تتشكل فى طبقات جزيئية، بحيث تتفاعل الطبقات بعضها مع بعض. مما يجعل هذه الجزيئات تتحرك عشوائياً خلال كل طبقة. هذه الأنواع التى تحفظ الترتيب المكانى للجزيئات تسمى البلورات السائلة السيمكتيكية "Semctic Liquid Crystals"، وكلمة «سيمكتيك» مشتقة من اللغة اليونانية القديمة وتعنى محلول الصابون. وهذا يشرح حقيقة المادة الانزلاقية.

وفى الحقيقة، تتواجد أنواع عديدة من البلورات السائلة التى تتضمن طرق مختلفة من الترتيب الجزيئى فى حالة وسط بين الترتيب التام فى الحالة البلورية وعدم الترتيب فى الحالة السائلية. وتمثل هذه التراكيب الجزيئية المعقدة نوع من «العمارة الجزيئية».

والآن، وبعد هذه السنين من الجهود المضنية فى مجال البحث والتطوير، نحن على أعتاب فهم أهمية هذه الأنواع من التأسيس الجزيئى فى الطبيعة. على سبيل المثال، جزئ الـ د. ن. أ "DNA" الحامل للشفرة الوراثية للكائنات الحية يمثل الطور النيماتى. والطريقة السهلة المتبعة للتعرف على هذه التراكيب الجزيئية هو دراسة نماذج هدب التداخل تحت مجهر بصرى مستقطب للضوء.

والمواد البلورية السائلة لها العديد من الخصائص المفيدة. على سبيل المثال، بعض من هذه المواد تتأثر بتطبيق المجالين الكهربائى والمغناطيسى. فى هذه الحالة تعيد المادة اتجاهها الجريئى بحيث يكون موازياً أو عمودياً على اتجاه المجال الخارجى المؤثر. وبالتالى يتغير اتجاه الموجه. وهذا يعنى أن تغيير معامل الانكسار يؤدى إلى تغيرات فى الخواص البصرية للبلورات السائلة، ولذلك تستخدم هذه المواد فى إنتاج أجهزة العرض المرئية التى تستهلك طاقة أقل بالمقارنة باستخدام الشاشات التى تعتمد على أنابيب الشعاع الكاثودى المعروفة.

وفى الوقت الحالى، تم اكتشاف مواد بلورية سائلة فى طورها السيمكتيكى فيروكهربية "Ferroelectric Semctic Liquid Crystals". وتستخدم هذه المواد

الآن في صناعة التليفزيونات فائقة الدقة "Higt Definition Television" (HDTV).

والآن، تعتبر الدول المتقدمة تكنولوجياً، البلورات السائلة الاستراتيجية مثل التكنولوجيا النووية وتكنولوجيا الليزر من الأسرار العسكرية بها، خاصة أن هذه المواد تستخدم في أجهزة الرصد الضوئي وتوليد الضوء المميز والمضمنات البصرية وفي مجال المعلومات وفي الهندسة الوراثية وأجهزة الكمبيوتر فائقة الذاكرة.... وخلافه.

(٦) خاتمة

فى نهاية عرضنا عن «دنيا الفيزياء» والذى اختتمناه بصفحات قليلة عن الفيزياء ودنيا المستقبل، نود أن نشير إلى التحديات التى تواجهنا فى سبيل تجميع الجهود والطاقات لعدم التخلف عن مسيرة العلم والتكنولوجيا فى المجال الهام الذى سيشكل الكثير من ملامح الحياة فى عالم الغد. إن المؤسسات العلمية العربية من جامعات ومراكز بحث وجهات صنع القرار مطالبة بمواجهة هذه التحديات بخطة طموحة قادرة على إحداث طفرة كبيرة، تمكن الجماعة العلمية من استيعاب واكتساب القدرة على المشاركة فى العطاء. ولأن هذه الكراسة موجهة إلى علماء المستقبل، فلعل اطلاعهم على هذا الطيف الواسع من المنجزات والإمكانيات المستقبلية يحببهم فى الاشتغال بالعلم والنبوغ فى كافة ميادينه، وعلى رأسها ميدان الفيزياء باعتباره ركيزة العلوم الأساسية وركيزة ما يقوم على أكتافها من ثورات تكنولوجية متلاحقة.

مصادر علمية للاستزادة

أ ـ مصادر فيزيائية مرتبة زمنياً :

(1) R. Taton, The Beginnings of Modern Physics, Basic Books, New York, 1964.

(2) W. H. Cropper, The Quantum physics, Oxford University Press, New York, 1970.

(3) D. A. Bromley, Physics in Perspective, National Academy of Science, Washington D. C., 1972.

(4) F. W. Inman and E. Miller, Contemporary Physics, Macmillan Publishing Co, 1975.

(5) C. M. Wolfe, N. Hulonyak and G.E. Stillman, Physics properties of Semiconductors, prentice Hall International Inc, Eagle wood Clifffs, N.J. 1989.

(6) A. J. Freeman and K. A. Schneider, Magnetism in the nineties, North Holland, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 1991.

(7) M. A. Howson, Contemporary phpies 1994.

(8) Physics Today (1995 - 1998).

(9) P. Landshoff, A. Matherell and D. Rees, Essential Quantum physics, Combridge University press, 1997.

ب ـ موسوعات إلكترونية

(1) Microsoft Encyclopedia 1997.

جـ ـ مواقع هامة على الإنترنت

(1) From Macroscopic world to nanophysics, www. dsm. cea. fr/ plaquette/gb7. (1999).

(2) Nano Fabrication (1999)
http://cerberas. dimes. tudelft. nl/ research/.

(3) Smart and supper Materials (1999)
http:// nanozine. com/ Nanomats. HTM

(4) Nano Computer Dream (1999)
http:// nanozine. com/ Nanomed. HTM

رقم الإيداع ١٩٦٢/٢٠٠٠
ISBN 977-281-123-5

مطابع الدار الهندسية ت: ٥٤٠٢٥٩٨